

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ВЛАДИВОСТОКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНСТИТУТ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ТУРИЗМА  
КАФЕДРА ЭКОЛОГИИ, БИОЛОГИИ И ГЕОГРАФИИ

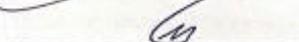
## ОТЧЕТ ПО ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ПРАКТИКЕ (НИР)

Студент  
гр. МЭП-23-1



И.А. Кампов

Руководитель  
канд. биол. наук, доцент



Н.В. Иваненко

Руководитель от  
профильной организации:  
Руководитель направления  
ИЭИ и мониторинга  
ООО «Искра.Эксперт»


М.В. Трухин

Владивосток 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВЛАДИВОСТОКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНСТИТУТ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ТУРИЗМА  
КАФЕДРА ЭКОЛОГИИ, БИОЛОГИИ И ГЕОГРАФИИ

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ  
на производственную научно-исследовательскую практику (НИР)

Студенту: гр. МЭП-23-1 Кампову Ивану Александровичу

Срок сдачи работы: 25.01.2025

**Задание 1.** Определить цели и задачи работы, обосновать актуальность тематики работы, проблемы на решение которой она направлена, научную и практическую значимость исследования. Выделить предмет и объект исследования.

**Задание 2.** Выполнить практическую часть научно-исследовательской работы в соответствии с целями и задачами исследования. (ПКВ-1).

**Задание 3.** Представить основные результаты работы в форме отчета по практике, выполненного с применением современных компьютерных технологий (ПКВ-1).

**Задание 4.** Подготовить научную публикацию по результатам выполненного исследования.

При написании работы использовать научный стиль изложения.

**Структура отчета по практике:**

**Введение:** определить цель и задачи практики, основные методы, необходимые для их достижения.

**1 Обоснование направления научно-исследовательской деятельности.** Обзор и список литературы (составить обзор литературы с обязательным использованием профессиональных баз данных и профессиональных Интернет-ресурсов) (ПКВ-1).

**2 Аннотированный отчет по результатам анализа литературы (состояние изученности темы).**

**3 Дать физико-географическую характеристику объекта исследования:** указать организацию, в которой проведены работы и собственное участие в осуществлении работ; отразить специальные методы исследования, положенные в основу работы; отразить особенности выполнения работ по сбору материала; указать источники получения информации, использованной в рамках исследования. Например, нормативные документы и и др. Указать методы обработки материалов, полученных в ходе исследования (ПКВ-1)

**Заключение:** сделать вывод о достижении поставленных целей и задач в ходе практики.

**Список использованных источников (не менее 35-ти позиций):** составить список литературы с использованием профессиональных баз данных и профессиональных Интернет-ресурсов. Оформить работу в соответствии со стандартами ВВГУ.

Руководитель практики  
канд., биол. наук, доцент

  
Н.В. Иваненко

Задание получил:

  
И.А. Кампов

Руководитель практики от профильной организации:  
Руководитель направления ИЭИ и мониторинга  
ООО «Искра.Эксперт»:



М.В. Трухин

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«ВЛАДИВОСТОКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ВВГУ

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН-ГРАФИК  
производственной научно-исследовательской практики (НИР)

Студент Кампов Иван Александрович группы МЭП-23-1 направляется для прохождения производственной научно-исследовательской практики (НИР)

с 04.11.2024 по 28.12.2024 г. и с 13.01.2025 по 25.01.2025

Содержание выполняемых работ	Сроки исполнения	
	начало	окончание
Постановка целей и задач практики, характеристика объекта и методов исследования	04.11.2024	25.11.2024
Выполнение практической части работы в соответствии с целями и задачами практики	26.11.2024	19.12.2024
Анализ литературных данных и представление практических решений в соответствии с целями и задачами практики	20.12.2024	28.12.2024
Оформление и защита отчета	13.01.2025	25.01.2025

Студент-практикант

Кампов Иван Александрович  
Фамилия Имя Отчество

  
Подпись

Руководитель практики от кафедры

Иваненко Наталья Владимировна

Руководитель практики от предприятия:

Трухин Максим Вячеславович  
Фамилия Имя Отчество



## Содержание

Введение .....	3
1 Загрязнение почв тяжелыми металлами .....	4
1.1 Химические свойства, пути поступления в окружающую среду .....	5
1.2 Уровни содержания, распределение, миграция Pb, Zn, Cd, Cu, Ni в литосфере и почвах ...	9
1.4 Оценка качества и контроль качества почв .....	14
1.5 Загрязнение почв тяжелыми металлами.....	18
2 Аннотированный отчет по результатам анализа литературы .....	23
3 Инженерно-экологические изысканий .....	25
3.1 Общие сведения о предприятии.....	25
2.2 Материалы и методы.....	27
Заключение.....	30
Список использованных источников.....	31

## Введение

Производственная научно-исследовательская практика (НИР) была пройдена в компании Общество с ограниченной ответственностью «Искра. Эксперт» (ООО «Искра. Эксперт») в отделе инженерно-экологических изысканий. Практика длилась 10 недель, в период с 04.11.2024 по 28.12.2024 г. и с 13.01.2025 по 25.01.2025

Целью практики – является формирование способности к исследованию и оценке вопросов в сфере экологии и природопользования с использованием научных методов; расширение профессиональных знаний, полученных в процессе обучения, и практических навыков ведения как самостоятельной научно-исследовательской деятельности, так и в составе научного коллектива; выявление прогрессивных направлений развития профессиональной деятельности.

При прохождении практики получены профессиональные знания, умения и навыки в областях:

- научные исследования в области экологии, охраны природы и других наук об окружающей среде, в академических учреждениях, вузах, особо-охраняемых природных территориях;

- оценка воздействия на окружающую среду;
- разработка практических рекомендаций по сохранению природной среды.

Для реализации поставленной цели необходимо решить задачи:

- определение проблем, задач и методов научного исследования;
- получение новой информации на основе наблюдений, опытов, научного анализа эмпирических данных;
- реферирование научных трудов, составление аналитических обзоров накопленных сведений в мировой науке и производственной деятельности;
- обобщение полученных результатов в контексте ранее накопленных в науке знаний;
- формулирование выводов и практических рекомендаций на основе репрезентативных и оригинальных результатов исследований;
- проведение комплексных исследований отраслевых, региональных, национальных и глобальных экологических проблем, разработка рекомендаций по их разрешению;
- оценка состояния, устойчивости и прогноз развития природных комплексов.

В период прохождения практики по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности для изучения и сбора информации использовались: внутренняя документация предприятия, СП, СанПиН, федеральные законы, а также ресурсы сети «Интернет».

## 1 Загрязнение почв тяжелыми металлами

Выбор темы "загрязнение почв Приморского края тяжелыми металлами" обусловлен несколькими факторами. Прежде всего, Приморский край — это один из крупнейших регионов России, расположенный на Дальнем Востоке. Кроме того, в этом регионе находятся крупные промышленные предприятия, которые занимаются добычей и переработкой полезных ископаемых, а также производством различных товаров.

Загрязнение городских почв тяжелыми металлами рассматривается как наиболее распространенный вид химической деградации почвенного покрова. Тяжелые металлы, такие как свинец, кадмий, ртуть и другие, представляют серьезную опасность для здоровья человека и экосистем в целом, поскольку обладают кумулятивным эффектом; способны к биоконцентрированию; обладают высокой миграционной способностью; в малых концентрациях высокотоксичны по отношению к живым организмам.

Загрязнение почв тяжелыми металлами, является острой проблемой нынешнего поколения. Согласно докладу об экологической ситуации в Приморском крае в 2023 году, проб почв, отобранных Управлением Роспотребнадзора по Приморскому краю в 2023 году неудовлетворительных по химическим показателям около 38% [1].

Территориями с превышением среднего значения по краю показателей по химическим показателям являются города Артем, Владивосток, Арсеньев, Надежденский, Хасанский, Партизанский, Яковлевский районы [1].

Основными загрязнителями почв тяжелыми металлами на территории Приморского края являются: автомобильный транспорт, железнодорожный транспорт, предприятия теплоэлектроэнергетики, градообразующие объекты промышленности [1].

Изучение проблемы загрязнения почв Приморского края тяжелыми металлами имеет большое значение для сохранения здоровья и благополучия населения, а также для сохранения природных ресурсов региона. Более того, данная проблема является актуальной и важной для всей России, так как загрязнение почв тяжелыми металлами является глобальной проблемой.

Целью работы является оценка современных уровней концентраций Pb, Zn, Cd, Cu, Ni в почвах населенных пунктов Приморского края.

Задачи:

1) выполнить анализ химических свойств Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, источников их поступления в окружающую среду, характерные уровни содержания этих элементов в почвах населенных пунктов Приморского края, биологические свойства элементов. Выяснить экологическую ситуацию в Приморском крае по загрязнению почв тяжелыми металлами (подготовить обзор литературы);

2) установить уровни концентраций Pb, Zn, Cd, Cu, Ni в почвах населенных пунктов Приморского края и причины их определяющие;

3) сравнить концентрации тяжелых металлов с существующими ОДК и оценить суммарный показатель загрязнения Zс.

Объект исследования: тяжелые металлы Pb, Zn, Cd, Cu, Ni в почвах населенных пунктов Приморского края.

Предмет исследования: оценка загрязнения почв населенных пунктов Приморского края тяжелыми металлами.

В основу работу положены результаты инженерно-экологических изысканий. Автор принимал непосредственное участие в отборе проб, обработке данных результатов изысканий и контрольных работ, на основании которых им была дана оценка загрязнения почв исследуемого района тяжелыми металлами.

### 1.1 Химические свойства, пути поступления в окружающую среду

**Свинец (Pb)** — это химический элемент с атомным номером 82 в периодической системе элементов. Он относится к группе свинца, расположенной под группой олова. Свинец является тяжелым металлом, серого цвета, и обладает хорошей пластичностью и коррозионной стойкостью.

Химические свойства свинца определяются его атомной структурой и электронной конфигурацией. Он образует различные соединения, включая соли, оксиды и комплексные соединения. Свинец может образовывать соединения с различными степенями окисления, включая двухвалентные и четырехвалентные соединения.

Свинец сильный токсикант. Фоновая концентрация в почвах находится в пределах 0,1-2 мг/кг, а в верхних горизонтах почв может варьировать в пределах от 3 до 200 мг/кг. При этом средние значения по типам почв находятся в пределах 10-67 мг/кг [2,3].

Источники поступления свинца в компоненты окружающей среды могут быть связаны как с природными, так и с антропогенными процессами. Основные природные процессы — это действующие вулканы, лесные пожары [4,5].

Свинец обладает способностью передаваться по цепям питания, накапливаясь в тканях растений, животных, человека. При скармливании животным кормов, содержащих 3 мг/кг свинца в сухой массе, металл накапливается в тканях. Токсичное действие свинца наиболее серьезно проявляется у жвачных животных, так как он длительное время находится в пищеводе, что увеличивает степень его поглощения. Накопление свинца в организме человека может вызвать заболевания, связанные с поражением нервной системы, цирроз печени, гипертонию. Доза свинца, равная 100 мг/кг сухого веса корма, считается летальной для животных. Время биологического полураспада соединений достигает нескольких лет [6].

Мировое производство свинца составляет  $34 \cdot 10^6$  т в год и его антропогенное поступление значительно превышает природное. Выбросы свинца в атмосферу происходят в результате технологических процессов практически всех отраслей промышленности – от предприятий цветной металлургии, химической промышленности, теплоэнергетики, с бытовыми отходами, от автотранспорта. При сжигании нефти и бензина в окружающую среду поступает не менее 50 % всего антропогенного свинца, что является важной составляющей в глобальном цикле элемента. Автомобильные выхлопы дают около 50 % общего неорганического свинца, попадающего в организм человека. Другим важным источником антропогенного поступления свинца в окружающую среду является производство черных и цветных металлов, а также горнодобывающая промышленность. [4].

Свинцовая пыль оседает на поверхности почв и передвигается по профилю с почвенными растворами, но выносятся за пределы почвенного профиля в небольших количествах. Однако благодаря процессам миграции в условиях кислой среды образуются техногенные аномалии свинца в почвах протяженностью до 100 м.

Механизм фиксации свинца в почвах зависит от кислотности среды. Основным способом фиксации является координационное связывание свинца структурными компонентами органического вещества, обладающими свободной парой электронов, а также глинистые минералы. В подзолистых почвах возможна миграция свинца из верхних горизонтов в нижние, однако при наличии гумусированных горизонтов свинец почти полностью закрепляется в них.

**Цинк (Zn)** – это химический элемент с атомным номером 30 в периодической системе элементов. Он относится к группе цинка, расположенной в середине периодической системы. Цинк является блестящим, серебристо-серым металлом, который обладает хорошей коррозионной стойкостью и высокой пластичностью.

Химические свойства цинка определяются его атомной структурой и электронной конфигурацией. Цинк образует различные соединения, включая соли, оксиды и комплексные соединения. Он часто образует двухвалентные соединения, где он действует в качестве ионного цинка ( $Zn^{2+}$ ).

Цинк выполняет важные функции в физиологии растений, связанные с дыханием, метаболизмом углеводов, протеинов, фосфатов, а также с образованием ДНК и рибосом. Также повышает устойчивость растений к сухим и жарким погодным условиям, к бактериальным и грибковым заболеваниям [7, 8, 9, 10].

В почвах цинк достаточно подвижен. Миграция цинка по профилю почвы, а также поступление его в растения более интенсивно происходят в песчаных и кислых почвах, что обусловлено механическим составом и низкой емкостью катионного обмена [11, 12]. Закрепление цинка гумусовыми веществами также снижает его подвижность в почвах [13].

Основным источником поступления свинца в атмосферу является выброс при высокотемпературных технологических процессах. Так при транспортировке, обогащении, сортировке с 1995 по 2005 г. по всему миру было рассеяно 700 тыс. т. Значительные количества цинка поступают в почву с твердыми отходами ГРЭС на буром угле. При сжигании каменного угля в 1980 г. в атмосферу поступило 137,5 тыс. т, но в 2000-х эта цифра увеличилась примерно в 1,6 раза. [14]

**Кадмий (Cd)** – мягкий, серебристо-белый металл, относящийся к группе цинковых металлов. Он имеет атомный номер 48 и относится к блоку d периодической системы элементов. Кадмий химически активен, но менее реактивен, чем его соседи по периоду – цинк и ртуть. Он обладает высокой коррозионной стойкостью, устойчив к воздействию воды и воздуха, но растворяется в кислотах и щелочах.

Кадмий образует два основных оксида –  $CdO$  и  $CdO_2$ . Он также образует множество соединений с другими элементами, включая соли кислот, органические соединения и сплавы с другими металлами. Кадмий может образовывать соединения с различными координационными числами, в том числе двухвалентные и четырехвалентные.

Кадмий в настоящее время считается одним из самых вредных тяжелых металлов, поскольку любое заметное увеличение его содержания в продуктах и кормах приводит к накоплению в организме человека [15, 16].

Химический состав материнской породы является главным фактором, определяющим фоновое содержание кадмия в почве. Промышленные выбросы этого элемента сильно влияют на загрязнение урбанизированных территорий. В число необходимых растениям элементов кадмий не входит, но эффективно может поглощаться корневой системой и листьями, накапливаясь и переходя по пищевой цепи [17].

Источниками поступления кадмия являются выбросы металлургических и нефтеперерабатывающих предприятий, производство и использование фосфатных удобрений, сжигание отходов, угля и бензина [18].

Кадмий, который выпадает на поверхность почвы, как правило, концентрируется в слое 2-5 см и подразделяется на фиксируемое и мигрирующие части. Частично трансформируются миграционные формы. Соединения кадмия переводятся в более подвижные соединения. В почвах с промывным режимом кадмий в составе растворов и твердых частиц мигрирует. Миграционная способность кадмия зависит от определенных условий среды и увеличивается при промывном водном режиме почв, высоком содержании водорастворимых органических соединений, содержаниях других тяжелых металлов в почве, высоком содержании гумусовых кислот, низком содержании гумуса и глины, при значении pH меньше 5,5 и при увеличении кислотности физиологических удобрений [19].

Кадмий в микродозах необходим человеку для регуляции содержания сахара в крови, но при повышенных концентрациях сильно токсичен. Он вызывает ломкость костей, повышает кровяное давление, обладает канцерогенными свойствами, накапливается в печени и почках [20, 21].

**Медь (Cu)** – это химический элемент из группы переходных металлов в периодической системе элементов. Она имеет атомный номер 29 и химический символ Cu, происходящий от латинского названия "cuprum". Медь является мягким, пластичным и хорошо проводящим тепло и электричество металлом.

Химические свойства меди связаны с ее атомной структурой и электронной конфигурацией. В чистом виде медь обычно не реагирует с водой или влажным воздухом, но она подвержена окислению при взаимодействии с кислородом, образуя слой оксида на поверхности (химическое уравнение:  $4\text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Cu}_2\text{O}$ ). Медь также обладает способностью образовывать различные соединения с другими элементами, включая соли, оксиды и комплексные соединения.

Медь один из наименее подвижных тяжелых металлов. Множество органических и минеральных соединений образует различные по растворимости комплексы с медью. В почвах с высоким содержанием органического вещества и глины подвижность металла низкая. Поэтому способность почв связывать медь в значительной степени зависит от характера и количества органического вещества [11, 12, 22, 23]

Медь играет значительную роль в некоторых физиологических процессах: фотосинтезе, дыхании, перераспределении углеводов, метаболизме протеинов, восстановлении и фиксации азота. Медь оказывает влияние и на механизмы, определяющие устойчивость растений к заболеваниям [24, 25, 26, 27, 28].

Медь поступает в окружающую среду в результате деятельности горно-обогатительных комбинатов, предприятий цветной металлургии, транспорта, производства удобрений, сварки, гальванизации, сжигания топлива. Так же соединения меди содержатся в выбросах электротехнических, нефтехимических производств, при производстве красителей, керамики и др [29].

**Никель (Ni)** – это химический элемент с атомным номером 28 в периодической системе элементов. Он относится к группе переходных металлов и обладает серебристо-белым металлическим блеском. Никель обладает хорошей химической стойкостью и устойчив к окислению при обычных условиях.

Химические свойства никеля определяются его атомной структурой и электронной конфигурацией. Никель является магнитным металлом и обладает хорошей

электропроводностью. Он может образовывать различные соединения, включая соли, оксиды и комплексные соединения [30].

Никель – приоритетный элемент-токсикант [31, 32]. Повышенные концентрации никеля в компонентах окружающей среды оказывают воздействие на организмы, являются канцерогенными для человека [33]. Однако имеются и сведения о необходимости никеля для организмов [33]. Растения, произрастающие на почвах с пониженным содержанием никеля, отзывчивы на внесение его соединений.

В распространенности элементов на Земле, никель занимает пятое место, но большая часть сосредоточена в ядре и, следовательно, недоступна. В земной коре по содержанию никель занимает 22 строчку среди других химических элементов и имеет магматическое происхождение. Естественные концентрации никеля в почвах составляет около 100 мг/кг [34].

Подвижность никеля в почве зависит от концентрации органического вещества (гумусовых кислот), pH и потенциала среды. Миграция никеля носит сложный характер. С одной стороны, никель поступает из почвы в виде почвенного раствора в растения и поверхностные воды, с другой – его количество в почве пополняется вследствие разрушения почвенных минералов, отмирания растений и микроорганизмов, а также за счет его внесения в почву с атмосферными осадками и пылью, с минеральными удобрениями [35].

## 1.2 Уровни содержания, распределение, миграция Pb, Zn, Cd, Cu, Ni в литосфере и почвах

Особенности распределения, миграции и аккумуляции химических элементов в природных средах определяются типом почв и климатическими особенностями региона, а также спецификой антропогенной нагрузки.

### Свинец

Содержание свинца в земной коре составляет 0,0016 %. Большая часть элемента находится в природе в рассеянном состоянии; он входит в состав более чем 200 минералов, и только три из них образуют промышленные запасы элемента: галенит  $PbS$ , англезит  $PbSO_4$ , церрусит  $PbCO_3$ . Свинец входит в состав многих породообразующих минералов. Очень редко и в небольшом количестве свинец встречается в чистом виде. В основном он представлен в полиметаллических рудах. Наиболее важная руда, из которой добывается свинец, – свинцовый блеск  $PbS$  [4].

Поведению этого металла в почвах посвящено большое количество публикаций, но они носят, как правило, частный характер. Ключевой вопрос о механизмах связывания свинца, которые и определяют его подвижность и доступность для растений, остается крайне дискуссионным [36].

Почва, являясь естественным барьером на пути миграции и поступления свинца в растения и грунтовые воды, обладает высокой способностью закреплять поступающий в нее элемент.

В почвы свинец поступает в составе отходов, образующихся при добыче и переработке полиметаллических руд, в виде примесей в удобрениях, галогенидов и оксида этого металла, которые содержатся в выхлопных газах автомобилей при использовании тетраэтилсвинца в качестве добавки к бензину [37, 38], а также стоков и лома с мест складирования и переработки отработанных аккумуляторных батарей [39]

Концентрация свинца в почвах, как правило, выше, чем в подстилающих породах. Повышенное содержание элемента в поверхностном слое почв не обязательно является следствием загрязнения за счет атмосферных выпадений или поверхностного переноса. Профильное распределение может формироваться в результате перераспределения свинца, содержащегося в почвообразующей породе, под влиянием выноса его растениями с последующим накоплением в подстилке и гумусовом горизонте [36].

Аккумуляция и транспорт свинца по почвенному профилю зависит от многих факторов. Так, например, свинец в почве связывается с органическим веществом, образуя комплексы с ионами  $Pb^{2+}$ . В свою очередь, связанный с органическим веществом металл может быть полностью или частично вытеснен по механизму ионного обмена. Десорбция свинца происходит за счет подкисления среды, снижения pH почвенного раствора.

В зависимости от свойств почв металл можно сделать практически полностью недоступным для растений и иммобильным, связав в виде карбоната, пироморфита или продукта взаимодействия  $Pb(II)$  с цеолитами [36].

Содержание свинца в почвах обычно составляет от 2 до 300 мг/кг [40]. Средние значения для антропогенно незагрязненных ландшафтов оценивают как 15-17 мг/кг в почвах легкого состава и 17-22 мг/кг в почвах тяжелого состава [36]. Эти концентрации заметно выше, чем в горных породах, где содержание свинца варьирует от 0.1 мг/кг (ультраосновные породы) до 8 мг/кг (основные) и 20 мг/кг (кислые породы). Осадочные породы содержат порядка 20 мг/кг [41].

Фоновое содержание свинца в почвах европейской части России колеблется в пределах 15-47 мг/кг. Загрязнение почвы свинцом на уровне 50 мг/кг опасно для здоровья человека [42].

#### Цинк

Содержание цинка в земной коре составляет 0,0083% [43].

Цинк достаточно подвижен в почвах, и его миграция по профилю и поступление в растения наиболее интенсивны в песчаных и кислых почвах, обусловленных механическим

составом и низкой емкостью катионного обмена. Закрепление цинка гумусовыми веществами также снижает его подвижность в почвах [30,44].

Цинк принадлежит к группе рассеянных элементов. Среди 64 минералов, содержащих цинк, особое значение имеют сфалерит (цинковая обманка  $ZnS$ , цинкит  $ZnO$ ), смитсонит ( $ZnCO_3$ ), вюртцит, каламин, госларит и другие. Большая часть цинка перемещается через водную среду Земли [14].

Цинк, который может растворяться в воде, составляет небольшую долю общего содержания металла в почве. Однако именно цинк активно перемещается в водных системах. Глобальный коэффициент водной миграции ( $K_v$ ) цинка составляет более 3, в то время как для свинца он всего лишь 0,5. Средняя концентрация цинка в реках по всему миру составляет около 20 мкг/л, с общей выносимой массой около 820 тысяч тонн в год. Однако средняя концентрация цинка в речных взвешях значительно выше и составляет около 143 микрограммов на литр, с общей выносимой массой около 5,8 миллионов тонн в год. Таким образом, вынос цинка в виде взвесей составляет 87% от общей массы выносимых металлов реками, в то время как свинец составляет более 98% [14].

Цинк активно участвует в обмене массами между сушей и тропосферой. Имеются данные о том, что 1 квадратный метр листьев деревьев может выделять до 9 килограммов цинка в год в форме терпенов. Значительное количество летучих органических соединений цинка выделяется в морских побережьях и субэкваториальных ландшафтах благодаря биометилизации бактериями. Однако пока невозможно количественно оценить массовое участие цинка в этих процессах [14].

Из природных источников поступления цинка в почву наибольший вклад вносят вулканическая деятельность ( $7,0 \times 10^6$  кг/год), ветровая пыль ( $25 \times 10^6$  кг/год), лесные пожары ( $2,1 \times 10^6$  кг/год) [45].

Основные отрасли промышленности, загрязняющие окружающую среду цинком: цветная металлургия ( $117,82 \times 10^6$  кг/год), черная металлургия ( $61,0 \times 10^6$  кг/год), сжигание угля, нефти, бензина, древесины и отходов в сумме дают поступление  $127,07 \times 10^6$  кг/год цинка, а также существенный вклад в загрязнение вносят химическая промышленность (производство суперфосфатных удобрений), твердые бытовые отходы, осадки канализационных сточных вод, загрязненные поливочные воды. Из минеральных удобрений наибольшее количество цинка содержится в фосфоритной муке (198 мг/кг), азофоске (138 мг/кг), известковой муке (до 200 мг/кг), а также в навозе (112 мг/кг), аммиачной воде (89 мг/кг), хлористом калии (40 мг/кг) [46, 47].

Происходящее в настоящее время загрязнение почв цинком привело в некоторых областях к крайне высокой аккумуляции его в верхнем слое почв. При этом загрязнении достигает уровня в 400-4245 мг/кг в районе добычи руд цветных металлов [48, 49].

В приземном слое воздуха над территорией, свободной от промышленного воздействия, концентрация цинка колеблется от 2 до 70 мг/м<sup>3</sup>. Следовательно, над площадью 1 км<sup>2</sup> на высоте 1 километра находится от 2 до 70 граммов металла, а над всей сушей (за исключением площади, покрытой ледниками и занятой внутренними водоемами) в приземном слое находится от 270 до 9450 т, в среднем 500 - 5000 т [14].

### **Кадмий**

По Кларку содержание кадмия в литосфере составляет  $1,3 \cdot 10^{-5}$  %, в земной коре – 0,13 мг/кг. [50].

Кадмий, выпадающий на поверхность почвы, обычно скапливается в слое толщиной от 2 до 5 см и разделяется на две части - фиксируемую и мигрирующую. Некоторые миграционные формы частично претерпевают трансформацию, превращаясь в более подвижные соединения. В случае почв с промывным режимом, кадмий мигрирует в составе растворов и твердых частиц. Эксперименты с использованием лизиметров показали, что концентрация кадмия снижается с увеличением глубины, и на глубине 90 см она составляет примерно 5-6 раз меньше. В твердой фазе почвы содержание кадмия достигает фонового уровня на глубине 30-40 см. При высоком содержании в почвенном растворе водорастворимых органических соединений, миграционная способность кадмия увеличивается за счет образования стабильных органоминеральных комплексов. В таком виде кадмий может перемещаться за пределы почвенного профиля, распространяясь на большие расстояния [19, 51].

Кадмий характеризуется довольно однородным распространением в главных типах горных пород. Как правило, он присутствует вместе с цинком в карбонатных и сульфидных рудах. Распространенность кадмия в магматических и осадочных породах не превышает 0,3 мг/кг. Данный элемент концентрируется в глинистых осадках и сланцах. Геохимия кадмия тесно связана с геохимией цинка, но кадмий имеет большое сродство к сере, чем цинк, и обнаруживает большую, чем цинк, подвижность в кислых средах. Кадмий образует соединения, изотипичные соответствующим соединениям таких катионов, как  $Zn^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  и в некоторых случаях  $Ca^{2+}$  [22, 46].

Основными источниками попадания кадмия в почву являются природные и антропогенные пути. Основными природными источниками поступления кадмия в атмосферу, а далее и на поверхность почвы, являются: извержение вулканов, лесные пожары, космическая пыль, дефляция почвенного покрова, испарение с поверхностей морей и океанов, выделение этого элемента растительностью [47]. Главным антропогенным источником

поступления кадмия в сельскохозяйственные почвы являются атмосферные осадки, минеральные и органические удобрения и в меньшей степени известковый материал, осадки сточных вод и другие отходы [52].

Содержание доступных форм кадмия в почве в большей степени зависит от значения pH, чем от механического состава почвы. В кислых почвах с pH ниже 5,5 кадмий обычно находится в подвижной форме. В слабокислых и нейтральных почвах с pH от 5,5 до 7,5, а также в щелочных и сильнощелочных почвах с pH от 7,5 до 9,5, кадмий менее подвижен [51].

### **Медь**

Уровни содержания меди в почвах могут варьироваться в зависимости от многих факторов, таких как тип почвы, климатические условия, использование удобрений и пестицидов, а также промышленные выбросы и загрязнения.

Кларк меди по Виноградову в земной коре равен  $4,7 \cdot 10^{-3} \%$  [53].

Согласно исследованию, проведенному в 2016 году в Китае, уровень содержания меди в почвах может колебаться от 0,1 до 3400 мг/кг в зависимости от региона и типа почвы [54]. В другом исследовании, проведенном в Индии, было обнаружено, что содержание меди в почвах может достигать 200 мг/кг [55].

Распределение меди в почвах может быть неравномерным и зависеть от различных факторов. Например, медь может скапливаться в верхних слоях почвы или перемещаться в глубокие слои под действием осадков и других факторов. Исследование, проведенное в Италии, показало, что медь имеет тенденцию скапливаться в верхних слоях почвы [56]. В другом исследовании, проведенном в Китае, было обнаружено, что медь может перемещаться в глубокие слои почвы под влиянием осадков и других факторов [54].

Миграция меди в почвах может происходить как вертикально, так и горизонтально. Например, медь может перемещаться вниз под действием осадков или вверх под влиянием капиллярных сил. Также медь может мигрировать горизонтально в результате эрозии почвы или под действием поверхностных вод. Исследование, проведенное в США, показало, что миграция меди в почвах может быть значительной и зависеть от типа почвы и других факторов [57].

### **Никель**

Уровень содержания никеля в почвах может значительно варьировать в зависимости от различных факторов, включая геологические особенности, климатические условия и человеческую деятельность.

Кларк никеля по Виноградову в земной коре равен  $5,8 \cdot 10^{-3} \%$  [53].

Согласно исследованию, проведенному в 2017 году в Китае, уровень содержания никеля в почвах может колебаться от 0,1 до 500 мг/кг (миллиграмм на килограмм) в зависимости от региона. Высокие уровни никеля обнаружены в регионах с промышленными предприятиями и транспортными магистралями [58].

В другом исследовании, проведенном в США, было обнаружено, что уровень содержания никеля в почвах может колебаться от менее чем 0,1 до более чем 100 мг/кг. Высокие уровни никеля были обнаружены в районах с производством стали и других металлов [59].

Миграция никеля в почвах зависит от ряда факторов, таких как pH, содержание органических веществ, наличие минеральных соединений и других элементов. Никель может быть как мобильным, так и иммобильным в почвенной среде.

Одним из основных источников никеля в почвах является его естественное содержание в горных породах. Кроме того, никель может попадать в почву в результате антропогенного воздействия, например, при добыче и переработке руд. Исследования показывают, что распределение никеля в почвах неоднородно и зависит от различных факторов. Так, например, в кислых почвах никель имеет склонность к мобильности и может перемещаться на значительные расстояния. В то же время, в щелочных почвах никель часто связывается с минеральными соединениями и становится менее доступным для растений. Исследованиями было выявлено, что содержание никеля в почвах может существенно варьировать как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Так, в некоторых регионах могут быть обнаружены почвы с очень высоким содержанием никеля, в то время как в других регионах его содержание будет незначительным [60, 61].

#### 1.4 Оценка качества и контроль качества почв

Оценка и контроль качества почв имеет важное значение для характеристики эколого-гигиенического состояния территории. Они позволяют изучать состояние почвы, определять ее плодородность, выявлять загрязнения и принимать соответствующие меры для ее улучшения и защиты.

В настоящее время возникает значительный интерес как в России, так и за рубежом к состоянию почв на урбанизированных территориях и его влиянию на здоровье населения. В отличие от атмосферы и водной среды, почва подвержена наиболее сильному воздействию урбанистической активности, быстро поглощает загрязнители и очень медленно их обрабатывает. Оценка качества почв имеет важное значение для оценки эколого-гигиенического состояния территории, поскольку почва является исходным звеном пищевой цепи, источником вторичного загрязнения атмосферы и воды, а также комплексным показателем экологического благополучия окружающей среды. Однако качественный анализ почв усложняется особенностями почвообразования в городской среде, где играют важную роль следующие факторы:

наличие насыпных и намывных грунтов, включение строительного и бытового мусора в верхних горизонтах [62].

Оценка качества почв включает в себя различные методы и инструменты, которые помогают определить ее физические, химические и биологические свойства. Важными характеристиками почвы являются текстура, структура, содержание органического вещества, плотность, влажность, pH-уровень, содержание питательных веществ (азота, фосфора, калия) и наличие вредных веществ (тяжелых металлов, пестицидов и др.). Для проведения оценки качества почвы могут применяться лабораторные анализы, полевые исследования и дистанционное зондирование.

Контроль качества почв предполагает систематическое наблюдение за состоянием почвы на определенной территории с целью выявления изменений и трендов. Он включает в себя регулярное отбор проб почвы для анализа, мониторинг физических и химических параметров почвы, а также изучение изменений в биологической активности и составе почвенного микробиома. Контроль качества почв также может включать оценку и регистрацию использования земель, анализ воздействия агротехнических мероприятий и оценку эффективности мер по улучшению и охране почвы.

Основная цель оценки и контроля качества почв заключается в определении уровня плодородия почвы и выявлении проблем, которые могут негативно влиять на ее качество. Это позволяет принимать меры по оптимизации агротехнических процессов, внедрению улучшающих мероприятий и применению адекватных методов управления почвой для достижения устойчивого использования земельных ресурсов и поддержания экологической устойчивости. Оценка и контроль качества почв также помогают предотвращать и управлять проблемами, связанными с деградацией почвы, эрозией, засолением, загрязнением и другими негативными процессами.

Санитарно-гигиеническая оценка почв является важным инструментом для определения степени безопасности и пригодности почвы для различных видов использования, включая сельское хозяйство, жилую застройку и рекреацию. Она основывается на анализе различных показателей, которые отражают уровень загрязнения и наличие патогенных или токсичных веществ в почве. Вот некоторые основные аспекты санитарно-гигиенической оценки почв:

- Анализ химических параметров. Включает измерение содержания различных химических веществ в почве, таких как тяжелые металлы, пестициды, органические соединения и другие токсичные вещества. Это позволяет определить уровень загрязнения и оценить его соответствие установленным нормативам и стандартам безопасности.
- Оценка физико-химических свойств. Включает измерение таких параметров, как pH, содержание органического вещества, текстура и структура почвы. Эти параметры

вливают на способность почвы удерживать воду, питательные вещества и другие вещества, а также на ее физическую устойчивость.

- Оценка микробиологического состояния. Включает изучение наличия и активности микроорганизмов в почве. Определение наличия патогенных микроорганизмов может быть важным аспектом оценки безопасности почвы для сельского хозяйства и рекреации.
- Оценка радиационной безопасности. Включает измерение уровня радиационного загрязнения почвы, особенно в районах, где происходили ядерные испытания или аварии на ядерных объектах. Радиационное загрязнение может иметь серьезные последствия для здоровья людей и окружающей среды.
- Стандарты и нормативы. Санитарно-гигиеническая оценка почв основывается на сравнении полученных результатов с установленными стандартами и нормативами. Это позволяет судить о пригодности почвы для определенных видов использования и принимать соответствующие меры по улучшению состояния почвы, если необходимо.

Санитарно-гигиеническая оценка почв является важным инструментом для определения рисков и принятия мер по защите здоровья людей и окружающей среды. Она требует систематического мониторинга и анализа, а также сотрудничества между государственными органами, научными учреждениями и другими заинтересованными сторонами для обеспечения безопасного и устойчивого использования почвы.

Для гигиенической оценки состояния компонентов природной среды в настоящее время нормативами являются предельно допустимые концентрации - ПДК [63] и ориентировочно допустимые концентрации - ОДК [63]. Величина ПДК и ОДК для ряда элементов может существенно меняться в зависимости от гранулометрического состава и рН почв. При оценке степени загрязнения почв с учетом ОДК использовались значения для песчаных и суглинистых почв при определенных значениях рН.

Оценка уровня загрязнения почв, как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения, приводится по показателям, разработанных при сопряженных геохимических и геогигиенических исследованиях окружающей среды городов с действующими источниками загрязнения. Согласно [64] и [65] такими показателями являются: коэффициент концентрации  $K_c$  и суммарный показатель загрязнения  $Z_c$ .

$K_c$  определяется отношением фактического содержания определяемого вещества ( $C_i$ ) в мг/кг (г/т) почвы к региональному фоновому ( $C_{fi}$ ):

$$K_c = C_i / C_{fi}.$$

$Z_c$  равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов-загрязнителей и выражен формулой:

$$Z_c = \sum (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1), \text{ где}$$

$n$  – число определяемых суммируемых веществ;

$K_{ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го компонента загрязнения.

Критерии степени загрязнения почв в соответствии СанПиН 1.2.3685-21 с учетом ПДК (ОДК), фоновых значений и коэффициента суммации загрязнения ( $Z_c$ ) [64] представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Критерии степени химического загрязнения почв

Категории загрязнения	Суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ )	Содержание в почве, мг/кг					
		I класс опасности		II класс опасности		III класс опасности	
		Органич. соединения	Неорганич. соединения	Органич. соединения	Неорганич. соединения	Органич. соединения	Неорганич. соединения
Чистая	-	От фона до ПДК	От фона до ПДК	От фона до ПДК	От фона по ПДК	От фона до ПДК	От фона до ПДК
Допустимая	<16	От 1 до 2 ПДК	От фона до ПДК	От 1 до 2 ПДК	От фона до ПДК	От 1 до 2 ПДК	От фона до ПДК
Умеренно опасная	16-32	-	-	-	-	От 2 до 5 ПДК	От ПДК до $K_{max}$
Опасная	32-128	От 2 ПДК до 5 ПДК	От ПДК до $K_{max}$	От 2 до 5 ПДК	От ПДК до $K_{max}$	> 5 ПДК	> $K_{max}$
Чрезвычайно опасная	>128	> 5 ПДК	> $K_{max}$	> 5 ПДК	> $K_{max}$	-	-

Составлено автором по [66]

## 1.5 Загрязнение почв тяжелыми металлами

Загрязнение городских почв тяжелыми металлами является серьезной проблемой, особенно в крупных и промышленных городах. Почвы многих городов, являются Урбаноземами – обладающими характеристиками естественных почв и специфическими. Урбаноземы характеризуются наличием поверхностного насыпного горизонта с примесями бытового и строительного мусора [67]. Экологической опасностью является нестабильное состояние тяжелых металлов, извлеченных из недр Земли, вследствие чего они включаются в производственные процессы [68]. Тяжелые металлы, такие как свинец, кадмий, цинк, никель и медь, могут попадать в почву как из атмосферы, так и из различных источников, включая промышленные выбросы, выбросы электроэнергетической промышленности, жилищно-коммунального хозяйства, автомобильных выбросов [69,70].

В настоящее время нормирование содержания тяжелых металлов в почве представляет собой сложную задачу, так как невозможно полностью учесть все изменения в окружающей среде. Изменение определенных факторов неизбежно приводит к изменениям в других. Например, изменение агрохимических свойств почвы, таких как pH-уровень, содержание органического вещества, уровень оснований и размер частиц, может привести к значительному увеличению или уменьшению концентрации тяжелых металлов в растениях [71].

Было выявлено, что при сжигании топлива и горюче-смазочных материалов в атмосферу попадают плотные частицы с высоким содержанием тяжелых металлов – Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, V и др. Так же известно при износе шин и коррозии металлических деталей кузова автомобиля могут загрязнять поверхностные слои придорожных почв [72].

Также свой вклад в загрязнение окружающей среды внес взрыв арсенала ТОФ в 1992 году. Результаты опробования почв, выполненные в октябре 1992 г. после взрыва арсенала ТОФ, показали, что в пределах «следа» дымового потока существенно возросло содержание кадмия, циркония, кобальта, мышьяка, бария, германия, лития, фтора, ртути. Значение суммарного показателя загрязнения до взрыва составляло, в основном, 2-4 и не превышало 12. После взрыва почвы подавляющей части территории характеризуются величинами суммарного показателя загрязнения в интервале от 8 до 30. В результате на территории площадью более 70 км<sup>2</sup> экологическая ситуация изменилась от удовлетворительной и допустимой, до напряженной, а на территории площадью порядка 8 км<sup>2</sup> вплотную приблизилась к критической [73].

Регулярные мониторинги атмосферного воздуха подтверждают прямую связь между низким качеством воздуха и здоровьем жителей Приморского края [74]. Несмотря на то, что в последние годы в городах Приморского края продвигается идея к снижению загрязнения атмосферного воздуха за счет совершенствования систем очистки выбросов с промышленных

предприятий, доля выбросов от автомобильного транспорта с каждым годом продолжает расти, и уровень запыленности воздуха остается высоким [69,75,76].

В городских почвах можно выделить следующие особенности поведения тяжелых металлов:

- миграция и превращение тяжелых металлов в городских почвах в значительной степени зависят от взаимодействия различных антропогенных физических полей, таких как шум, вибрация, электромагнитное излучение, а также измененных параметров естественных геофизических полей, включая гравитацию, магнитное поле и космическое излучение [77];
- миграция и превращение соединений тяжелых металлов в городских почвах определяются локальностью источников их поступления в почву, воду и воздушную среду, а также различным набором тяжелых металлов в загрязняющих веществах [77];
- миграция и превращение соединений тяжелых металлов в городских почвах в значительной степени связаны с их поступлением в компоненты экосистемы вместе с нефтепродуктами, антигололедными реагентами и поверхностно-активными веществами [77];
- городские почвы значительно отличаются по своим характеристикам от почв, присущих определенным зонам, что определяет особенности превращения тяжелых металлов в них [77].

Долгосрочное и накопительное действие тяжелых металлов может иметь негативные последствия для здоровья человека и окружающей среды. Они могут проникать в пищевую цепочку через растения и животных, что в конечном итоге может оказывать влияние на здоровье людей, особенно детей, а также на экосистемы.

Причины загрязнения городских почв тяжелыми металлами:

- Промышленные выбросы. Выбросы тяжелых металлов из промышленных предприятий, таких как заводы, шахты и рудники, могут попадать в городские почвы в результате неправильной утилизации отходов или неэффективных систем очистки выбросов [78].
- Транспортные средства. Выхлопные газы и сбросы масел от автомобилей и других транспортных средств содержат тяжелые металлы, которые могут оседать на почве вдоль дорог и автостоянок [74,79].
- Городская сельскохозяйственная деятельность. Использование тяжелых металлов в удобрениях, пестицидах и других сельскохозяйственных препаратах может приводить к их накоплению в почве [80].
- Бытовые отходы. Неправильная утилизация бытовых отходов, включая выбрасывание их на землю или использование некачественных компостов, может привести к загрязнению почвы тяжелыми металлами содержащими предметами [81].

- Загрязненная вода. Сливы загрязненной воды, содержащей тяжелые металлы из промышленных и коммерческих объектов, поверхностных стоков и канализации, могут стекать в почву и приводить к загрязнению городских почв тяжелыми металлами [82].

Последствия загрязнения городских почв тяжелыми металлами:

- Негативное воздействие на растительный мир. Тяжелые металлы могут накапливаться в растениях, что приводит к ухудшению их роста и развития. Они могут также проникать в пищевые цепи через растительную пищу, воздействуя на животных и человека.

- Воздействие на здоровье человека. Постоянное воздействие тяжелых металлов на человека через почву может вызывать серьезные заболевания, такие как отравления, нарушения работы нервной и иммунной систем, проблемы с печенью и почками, а также различные виды рака.

- Экологическое неравновесие. Загрязнение городских почв тяжелыми металлами может нарушать естественные экологические процессы, включая взаимодействие с микроорганизмами, почвенную флору и фауну, что может привести к снижению биоразнообразия и разрушению экосистем.

В России проводятся различные методы оценки и контроля загрязнения городских почв тяжелыми металлами:

- Лабораторные анализы. Проводятся химические анализы образцов почвы с целью определения содержания тяжелых металлов. Лабораторные методы позволяют получить количественные данные о загрязнении и сравнить их с нормативными значениями.

- Мониторинг почвенного состояния. Осуществляется систематический мониторинг загрязнения городских почв тяжелыми металлами на определенных участках. Это может включать отбор образцов почвы и проведение регулярных анализов для отслеживания изменений уровня загрязнения.

- Картографирование загрязнения. С помощью ГИС и картографических методов создаются карты, отображающие уровень и распределение загрязнения городских почв тяжелыми металлами. Это позволяет идентифицировать участки с высоким уровнем загрязнения и разрабатывать меры для его снижения и рекультивации [83,84].

- Регулирование выбросов и контроль промышленности. Важным аспектом является контроль за выбросами тяжелых металлов из промышленных предприятий. Российские органы государственного контроля и надзора имеют механизмы для мониторинга и соблюдения нормативов выбросов тяжелых металлов, а также принятия мер по предотвращению загрязнения почвы.

- Рекультивация загрязненных участков. При выявлении участков с высоким уровнем загрязнения проводятся меры по их рекультивации. Это может включать удаление

загрязненного слоя почвы, применение методов фиторемедиации (использование растений для очистки почвы) и другие способы восстановления почвенного покрова.

– Инженерные методы. Использование инженерных методов, таких как создание барьеров или установка геосинтетических материалов для предотвращения миграции тяжелых металлов из загрязненных почв в окружающую среду. Также применение методов удаления загрязненных слоев почвы и замена их чистой почвой.

– Регулирование обращения с опасными отходами. Принимаются меры для регулирования обращения с опасными отходами, включая тяжелые металлы. Это включает строгие нормативы по сбору, обработке, переработке и утилизации опасных отходов, чтобы минимизировать риск их попадания в почву и окружающую среду.

– Информационные системы и базы данных. Создаются информационные системы и базы данных, в которых собираются, хранятся и анализируются данные о загрязнении городских почв тяжелыми металлами. Это позволяет проводить мониторинг, оценку рисков и принимать эффективные меры по борьбе с загрязнением.

– Научные исследования и разработки. Ведутся научные исследования и разработки новых методов и технологий для предотвращения и снижения загрязнения городских почв тяжелыми металлами. Это включает разработку более эффективных методов очистки, улучшение процессов рекультивации и разработку экологически чистых материалов и технологий.

– Образование общественного сознания. Важным аспектом борьбы с загрязнением городских почв является создание общественного сознания о проблеме и ее последствиях. Образовательные программы, информационные кампании и публичные мероприятия могут помочь повысить осведомленность людей о вреде загрязнения почвы тяжелыми металлами и стимулировать принятие соответствующих мер для предотвращения загрязнения.

Во Владивостоке, как и в других крупных городах в почву поступают многочисленные химические соединения в том числе тяжелые металлы. По данным исследования [61] среднее содержание свинца равняется 50 мг/кг, меди 82 мг/кг, никеля 29 мг/кг, цинка 259 мг/кг. Почвы селитебных районов Владивостока в сравнении с кларком обогащены хромом, медью, цинком, свинцом [69].

Ежегодно в окружающую среду поступает 1,4 тыс. тонн свинца, тогда как выбросы промышленных предприятий составляют 0,54 тыс. тонн [74].

Содержание свинца (валовой формы) в районе северного выезда г. Уссурийска составило 96,9 мг/кг. В районе северо-западного выезда – 84,1 мг/кг. У восточной окраины Уссурийска – 38,3 мг/кг. В центре города – 97,5 мг/кг. В городском парке – 61,1 мг/кг. Концентрации около юго-восточного выезда составили – 52,7 мг/кг и у южной окраины – 40,6 мг/кг.

Известно, что основным источником поступления свинца в окружающую среду г. Уссурийска является автомобильный транспорт [85].

Результаты другого исследования показывают иные содержания тяжелых металлов в городских почвах. В г. Уссурийске средние показатели цинка достигают примерно 93,7 мг/кг, меди – 43,7 мг/кг, свинца – 45,95 мг/кг, кадмия – 1,962 мг/кг, никеля – 9,795 мг/кг. В г. Находка средние показатели цинка достигают примерно 52,06 мг/кг, меди – 12,08 мг/кг, свинца – 18,96 мг/кг, кадмия – <0,001 мг/кг, никеля – 12,185 мг/кг [86].

Максимальное валовое содержания меди в почвах г. Петропавловска-Камчатского составило в 2017 г. 37,65 мг/кг, в 2018г. 42,36 мг/кг. Уровень содержания цинка за двухлетний период не превышал 65,75 мг/кг. Максимальное содержания свинца составило 309,8 мг/кг. Суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) показал допустимый уровень загрязнения за период 2017-2018 гг. [87].

В ходе мониторинга почвенного состояния города Москвы, были выявлены следующие концентрации тяжелых металлов: свинец мин. содержание – 9 мг/кг, макс. содержание – 600 мг/кг; цинк мин. содержание 5 мг/кг, макс. содержание – 1645 мг/кг; медь мин. содержание 32 мг/кг, макс. содержание 100 мг/кг; кадмий мин. содержание 0,3 мг/кг, макс. содержание 26 мг/кг [67].

Загрязнение городских почв тяжелыми металлами представляет серьезную экологическую и здоровьесберегающую проблему. Правильное управление и борьба с этой проблемой требуют совместных усилий правительственных органов, научных исследователей, промышленных предприятий и общественности. Разработка и применение эффективных методов очистки и рекультивации почвы, регулирование и контроль выбросов тяжелых металлов, а также образование общественного сознания являются важными шагами в направлении сохранения здоровья окружающей среды и обеспечения устойчивого городского развития.

Загрязнение городских почв тяжелыми металлами требует комплексного подхода, включающего мониторинг, превентивные меры, регулирование и рекультивацию. Это помогает минимизировать риски для здоровья и сохранить экологическую устойчивость городской среды [88].

## 2 Аннотированный отчет по результатам анализа литературы

В настоящее время тема загрязнения почв в Приморском крае является актуальной. Ежегодно Управление Роспотребнадзора по Приморскому краю проводит исследование на соответствие требований гигиенических нормативов по химическим показателям.

В 2024 году Уссурийским филиалом ФГБУ «Приморская межобластная ветеринарная лаборатория» в рамках исполнения государственного задания на землях сельскохозяйственного назначения на территории Приморского края проведено 302 исследования 70 проб почвенных образцов. Из них на соответствие агрохимическим показателям проведено 192 исследования, в ходе которых изучалось соответствие плодородного слоя почвы по содержанию фосфора, калия, рН и гумуса. В результате получено 63 результата с несоответствиями. Выявляемость составила 32,8%. По техногенному загрязнению плодородного слоя специалистами лаборатории проведено 110 исследований образцов почв, отобранных инспекторами Приморского межрегионального управления Россельхознадзора на землях сельскохозяйственного назначения, из них в 14 случаях установлено техногенное загрязнение почв тяжелыми металлами. Выявляемость составила 12,7%.

В октябре 2024 года, специалисты Приморского филиала ФГБУ «Национальный центр безопасности продукции водного промысла и аквакультуры» провели более 2 700 исследований 623 проб почвы. В 33 случаях выявлено загрязнение почв тяжёлыми металлами, такими как свинец, никель, медь и цинк. Кроме того, в ноябре 2023 года в районе села Корниловка Анучинского муниципального округа в почве, используемой для выращивания сои, обнаружено превышение допустимого содержания цинка в 1,2–1,8 раза.

В период с 2018 по 2020 годы проведён анализ содержания свинца, цинка, меди, никеля, кадмия, марганца и ртути в почвах 12 административных территорий Приморского края. Установлено, что в северных районах преобладают природные источники загрязнения, тогда как в южных, особенно в местах компактного проживания населения, загрязнение носит техногенный характер. Основными источниками являются выбросы от автомобильного, железнодорожного и морского транспорта [89].

В исследовании Манаховой Н.В. и Труновой И.Е. (2009) проведена сравнительная характеристика загрязнения почвы и питьевой воды тяжёлыми металлами на территориях Приморского края в 2007–2008 гг. Результаты показали, что в некоторых районах наблюдается превышение допустимых концентраций тяжёлых металлов, что может представлять риск для здоровья населения [90].

В исследовании, О.В. Савченко, анализируется уровень загрязнения почв Владивостока тяжёлыми металлами. Результаты показывают, что в некоторых районах города

концентрации свинца, цинка и меди превышают предельно допустимые концентрации (ПДК), что связано с интенсивным движением транспорта и промышленной деятельностью [70].

Приморский край обладает уникальным биоразнообразием, включая редкие и эндемичные виды растений и животных. Загрязнение почв тяжёлыми металлами нарушает экосистемный баланс, снижая продуктивность почв, приводя к деградации земель и угрозе для биоразнообразия региона.

Почвы являются важным компонентом экологической системы, связывающим атмосферу, гидросферу и биосферу. Загрязнение почв приводит к накоплению токсичных элементов в продуктах питания, воде и воздухе, что оказывает прямое воздействие на здоровье населения. Тяжёлые металлы, такие как свинец, ртуть и кадмий, являются канцерогенами и вызывают хронические заболевания, включая поражения нервной системы, печени, почек и онкологические патологии.

Существующие меры мониторинга загрязнения почв недостаточны. Нередко исследования носят локальный характер и охватывают ограниченные территории. Отсутствие системного подхода к решению проблемы затрудняет её решение на региональном уровне.

Для достижения устойчивого развития региона необходимо не только минимизировать текущий уровень загрязнения, но и предотвратить его дальнейшее накопление. Это требует внедрения современных технологий в промышленности, транспорта и сельском хозяйстве, а также усиления контроля за соблюдением экологических норм.

Актуальность проблемы загрязнения почв тяжёлыми металлами в Приморском крае определяется её влиянием на состояние окружающей среды, здоровье населения и экономику региона. Учитывая интенсивное развитие промышленности, транспорта и урбанизации, а также биологическую ценность региона, необходимы системные подходы к мониторингу, реабилитации почв и предотвращению дальнейшего загрязнения.

### 3 Инженерно-экологические изысканий

#### 3.1 Общие сведения о предприятии

Производственная научно-исследовательская практика (НИР) была пройдена в компании Общество с ограниченной ответственностью «Искра. Эксперт» (ООО «Искра. Эксперт») в отделе инженерно-экологических изысканий.

Общество с ограниченной ответственностью «Искра. Эксперт» было основано в 2014 году.

Директор Машин Игорь Олегович.

Миссия компании – Мы выстраиваем партнёрские и доверительные отношения, снижаем риски для бизнеса и помогаем сэкономить время наших клиентов путём создания внутри команды атмосферы развития и открытости, проявления идей и талантов, профессионализма и опыта каждого сотрудника [92].

Реквизиты ООО «Искра.Эксперт» представлены в таблице 2 [92].

Таблица 2 – Сведения организации

Параметр	Данные
Юридический адрес	690089, г. Владивосток, ул. Тухачевского, д. 30, оф. 6-1
Почтовый адрес	690089, г. Владивосток, ул. Тухачевского, д. 30, оф. 6-1
ИНН	2543054531
КПП	254301001
Тел./факс	(423) 200-87-44
E-mail	office@iskra.expert

Составлено автором по [92]

Основной вид деятельности – деятельность в области инженерных изысканий, инженерно-технического проектирования, управления проектами строительства, выполнения строительного контроля и авторского надзора, предоставление технических консультаций в этих областях (71.12).

Услуги ООО «Искра. Эксперт» представлены на рисунке 1[93].



Рисунок 1 – Услуги ООО «Искра. Эксперт»

Составлено автором по [93]

Основными услугами предприятия являются проектирование, инженерные изыскания и экологическое проектирование.

Всего за 2021 г. компания выполнила 136 изысканий (рисунок 2) [91].

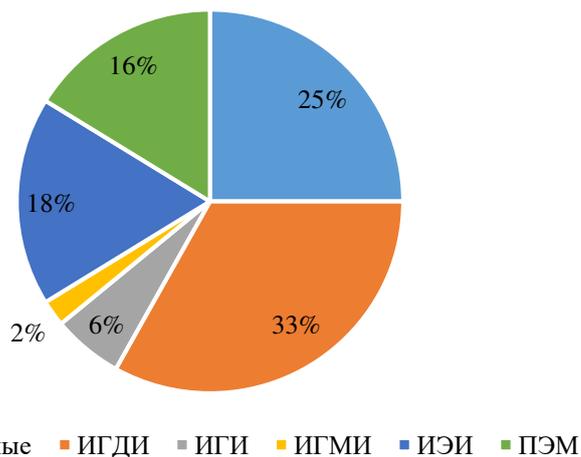


Рисунок 2 – Количество выполненных изысканий за 2021 г.

Составлено автором по [91]

В 2021 году было выполнено 136 заказов, в том числе комплексных инженерных изысканий – 25%, инженерно-геодезических (ИГДИ) – 33%, инженерно-геологических (ИГИ) – 6%, инженерно-гидрометеорологических (ИГМИ) – 2%, инженерно-экологических (ИЭИ) – 18%, производственный экологический мониторинг – 16%.

В подчинении директора находится технический директор и все сотрудники компании. Внутри организационной структуры представлено 4 отдела во главе с начальниками, которым подчиняются соответствующие сотрудники.

Крупными проектами компании можно считать:

- производственный экологический мониторинг и контроль при строительстве объектов ССК Звезда;
- разработка проекта санитарно-защитной зоны для ООО «Газпром газэнергосеть гелий»;
- инженерно-геологические и инженерно-экологические изыскания по объекту: «Реконструкция централизованной системы водоснабжения ЗАТО Фокино»;
- комплексные инженерные изыскания для «Tigre De Cristal»;
- инженерно-экологические изыскания для объекта: «Жилой комплекс в районе сопки «Холодильник» в г. Владивосток»;
- комплекса инженерных изысканий для объекта: «Инспекционно-досмотровый комплекс на железнодорожном пункте пропуска Пограничный, Приморский край».

## 2.2 Материалы и методы

В рамках прохождения практики на предприятии ООО «Искра. Эксперт» были собраны материалы для написания магистерской диссертации. Были получены концентрации тяжелых металлов в почва на территории Приморского края. Пробы были отобраны в г. Уссурийск, Артем, Находка, Владивосток, Дальнереченск, Хасанском районе, Надежденском районе, п. Зарубино, с. Черниговка и на территории острова Русский.

Опробование было выполнено совместно с сотрудниками ООО «Искра.Эксперт». Отбор проводился в рамках выполнения инженерно-экологических изысканий.

Опробование из верхнего горизонта (0-20 см) производилось методом «конверта», размерами пробной площадки 5x5 м, составлением объединенной пробы массой до 1,5 кг.

Опробование из верхнего горизонта обусловлено тем, что именно здесь наблюдается максимальная концентрация загрязняющих веществ, поступающих из приземных слоев атмосферы, с поверхностным стоком или в процессе деструкции отходов.

Химический анализ отобранных проб будет проводится специалистами аккредитованных лабораторий.

Подготовка почвы к выполнению измерений перед атомно-абсорбционной спектрофотометрией является важным этапом для определения содержания тяжелых металлов и других элементов в почве. Этот метод анализа основан на поглощении света атомами металлов при переходе электронов на более высокие энергетические уровни.

Основные этапы подготовки почвы перед атомно-абсорбционной спектрофотометрией:

- Сбор образцов почвы. Необходимо собрать представительные образцы почвы из различных точек и глубин, чтобы учесть возможную вариабельность содержания элементов [94];

– Предварительная обработка образцов. Перед проведением атомно-абсорбционной спектрофотометрии, образцы почвы обычно проходят ряд предварительных обработок, таких как сушка при комнатной температуре и измельчение до однородной консистенции. Это позволяет обеспечить однородность образцов и улучшить точность анализа [94];

– Экстракция. Для извлечения растворимых форм тяжелых металлов из почвы часто применяют различные растворители. Наиболее распространенным методом является использование кислотных растворов, таких как соляная кислота или смесь соляной и солянокислой кислот. Экстракция может проводиться при различных условиях, например, при комнатной температуре или повышенной температуре [94];

– Фильтрация. После экстракции раствора почвы фильтруют, чтобы удалить твердые частицы и другие примеси, которые могут повлиять на точность анализа [94];

– Разведение образцов. Полученные экстракты почвы обычно разбавляются с помощью подходящих растворителей, чтобы сократить концентрацию элементов до оптимального диапазона, пригодного для анализа спектрофотометром [94];

– Калибровка и измерение. Подготовленные образцы почвы подвергаются калибровке на основе стандартных растворов с известной концентрацией элементов. Затем производится измерение атомно-абсорбционной спектрофотометрией, которое позволяет определить концентрацию тяжелых металлов в образцах почвы [94].

Важно отметить, что каждая лаборатория может иметь свои специфические протоколы пробообработки в зависимости от использованного оборудования и методики.

– Контрольные образцы. Важным шагом в пробообработке почвы перед атомно-абсорбционной спектрофотометрией является включение контрольных образцов. Контрольные образцы, которые содержат известные концентрации тяжелых металлов, используются для проверки точности и надежности анализа. Они позволяют оценить систематические ошибки и корректировать результаты измерений [94];

– Регистрация данных. После проведения измерений атомно-абсорбционной спектрофотометрией полученные данные регистрируются и анализируются. В результате получается количественная информация о содержании тяжелых металлов в почве [94];

– Интерпретация и анализ данных. Полученные данные могут быть интерпретированы с учетом действующих нормативных и регуляторных требований. Проводится сравнение концентраций тяжелых металлов с установленными предельными значениями, чтобы определить уровень загрязнения почвы и его потенциальные последствия [94];

– Выводы и рекомендации. На основе результатов анализа и интерпретации данных составляются выводы и формулируются рекомендации по дальнейшим действиям. Это

может включать рекомендации по предотвращению загрязнения, меры регулирования и управления, а также возможные меры реабилитации и реставрации загрязненных участков.

Пробообработка почвы перед атомно-абсорбционной спектрофотометрией является неотъемлемой частью процесса анализа и позволяет получить достоверные и точные данные о содержании тяжелых металлов в почве. Она требует строго соблюдения протоколов и методик, а также контроля качества для обеспечения надежных результатов анализа.

Для гигиенической оценки состояния компонентов природной среды в настоящее время нормативами являются предельно допустимые концентрации - ПДК (СанПиН 1.2.3685-21) и ориентировочно допустимые концентрации - ОДК (СанПиН 1.2.3685-21). Величина ПДК и ОДК для ряда элементов может существенно меняться в зависимости от гранулометрического состава и pH почв. При оценке степени загрязнения почв с учетом ОДК использовались значения для песчаных и суглинистых почв при определенных значениях pH [63, 64].

Оценка уровня загрязнения почв, как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения, приводится по показателям, разработанных при сопряженных геохимических и геогигиенических исследованиях окружающей среды городов с действующими источниками загрязнения. Согласно СанПиН 2.1.3684-21 и МУ 2.1.7.730-99 такими показателями являются: коэффициент концентрации  $K_c$  и суммарный показатель загрязнения  $Z_c$  [64, 65].

$K_c$  определяется отношением фактического содержания определяемого вещества ( $C_i$ ) в мг/кг (г/т) почвы к региональному фоновому ( $C_{fi}$ ):

$$K_c = C_i / C_{fi}.$$

$Z_c$  равен сумме коэффициентов концентраций химических элементов-загрязнителей и выражен формулой:

$$Z_c = \sum (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1), \text{ где}$$

$n$  – число определяемых суммируемых веществ;

$K_{ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го компонента загрязнения.

## Заключение

Производственная научно-исследовательская практика (НИР) была пройдена в компании Общество с ограниченной ответственностью «Искра. Эксперт» (ООО «Искра. Эксперт») в отделе инженерно-экологических изысканий.

За период прохождения производственной преддипломной практики была изучена нормативно-правовая документация, внутренняя документация предприятия, СП, СанПиН, федеральные законы, а также ресурсы сети «Интернет».

Были определены проблемы, задачи и методы научного исследования.

Получены новые данные на основе наблюдений, опытов, научного анализа эмпирических данных.

Были реферированы научные труды, составлены аналитические обзоры накопленных сведений в науке и производственной деятельности.

Обобщены полученные результаты в контексте ранее накопленных в науке знаний.

Сформулированы выводы и практические рекомендации на основе репрезентативных и оригинальных результатов исследований.

Проведены комплексные исследования отраслевых, региональных, национальных и глобальных экологических проблем, разработаны рекомендации по их разрешению.

Проведена оценка состояния, устойчивости и прогноз развития природных комплексов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2023 году. – Текст: электронный // Официальный сайт Правительства Приморского края: [сайт]. – URL: <https://primorsky.ru/> (дата обращения: 21.01.2025).
2. Аконов Э.И. О круговороте тяжелых металлов в биосфере // Биохимические циклы в биосфере. М.: Наука, 1976. С. 272-284.
3. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. М., 1992. 200 с.
4. Орлов Д.С., Л.К. Садовникова, И.Н. Лозановская. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высш. шк., 2002. 334 с.
5. Сагт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
6. Глазовская М.А. Методологические основы оценки экологическо-энергетической устойчивости почв к техногенным воздействиям. М.: Изд-во МГУ, 1997. 102 с.
7. Андриевская Л.П. Накопление тяжелых металлов в агроландшафтах Нижнего Поволжья // Основы достижения устойчивого развития сельского хозяйства. Волгоград: ВГСХА, 2004. С. 107-109.
8. Зборищук Ю. Н. Среднее содержание В, Мп, Со, Си, Zn, Мо и J в почвах европейской части СССР // Агрохимия. 1974. № 3. С. 88-94.
9. Ильин В.Б. К вопросу о разработке ПДК тяжелых металлов в почвах // Агрохимия. 1985. №11. С. 94-101.
10. Ковальский В.В. Микроэлементы в почвах СССР. М., 1970. 179 с.
11. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: Издательство АН СССР, 1957. 238 с.
12. Шаркова С.Ю. Воздействие ТМ на почвенную микрофлору. // Плодородие. 2007. №4. С.40.
13. Орлов Д.С. Образование гуматов кобальта, никеля, меди и цинка // Научные доклады высш.шк. Биол. науки. 1960. № 3. С. 62-66.
14. Соловьева Д.Ю. Экологические проблемы круговорота цинка. Загрязнение цинком городской среды // Материалы XI Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». – 2019.
15. Губин А.Н. Кадмий в системе: торфяная низинная почва – растение // Плодородие. 2007. №2. С.35-36., Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растения. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.

16. Сепов М. Особенности накопления тяжелых металлов в организме человека // Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве. 2004. № 3. С. 43-48.
17. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. М., 1992. 200 с., Алексеенко В.А. Цинк и кадмий в окружающей среде. М: Наука, 1992. 197 с.
18. Фазлыева А.С., Усманова Э.Н., Каримов Д.О., Смолянкин Д.А., Даукаев Р.А. Накопление кадмия в живых системах, как проблема загрязнения окружающей среды // Медицина труда и экология человека. – 2018. – №3. – С. 47-51.
19. ГОСТ Р 58663-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Методы определения свинца, кадмия, мышьяка, никеля, ртути, хрома (VI), меди, цинка и биурета (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.11.2019 N 1326-ст) // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200169974> (дата обращения: 15.01.2025).
20. Ходус А. Гарантия экологического качества // АгробизнесРоссия. 2008. № 3. С. 20-21.
21. Алексеенко В.А. Цинк и кадмий в окружающей среде. М: Наука, 1992. 197 с.
22. Каббата-Пендис А. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
23. Протасова Н.А. Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Sr, Ba, В, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. Воронеж, 2003. 368 с.
24. Бахнов В.К. Содержание микроэлементов меди и марганца в торфяных почвах Барабинской низменности // Микроэлементы в почвах, растительности и водах южной части Западной Сибири. Новосибирск, 1971. С. 17-27.
25. Евдокимова Г.А. Действие меди и никеля на биологические процессы в подзолистой почве // Тез. докл. 8 Всес. съезда почвовед. Кн. 2. Новосибирск, 1989. С. 284.
26. Зырин Н. Г. Распределение и варьирование содержания микроэлементов в почвах Русской равнины // Почвоведение. 1968. № 7. С. 77-87.
27. Коломийцева М.Г. Содержание и соотношение некоторых микроэлементов (йода, фтора, меди и кобальта) во внешней среде и тканях человека в районах зубной эндемии (по материалам Алтайского края): автореф. дисс. ... докт. биолог. наук. М., 1961. 21 с.
28. Якушевская И.В. Микроэлементы в природных ландшафтах. М., 1973. 100 с.
29. Иванов В. С., Черкасова О. А. Роль промышленных предприятий в формировании загрязнения почвенного покрова кобальтом, медью, свинцом // Вестник ВГМУ. – 2011. – №3. – С. 143-150.
30. Водяницкий Ю.Н. Об опасных тяжелых металлах/металлоидах в почвах // Бюл. Почв. ин-та. – 2011. – №68. – С. 56-82.

31. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М., 1983.
32. Грушко Я.М. Вредные неорганические соединения в промышленных выбросах в атмосферу. Л., 1987.
33. Ягодин Б.А., Говорина В.В., Виноградова С.Б. Никель в системе почва - удобрения - растения – животные и человек // Агрохимия. 1991 №1.
34. Иванищев В.В. Никель в окружающей среде и его влияние на растения // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2021. – №2. – С. 38-53.
35. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах: научное издание / Ю.Н. Водяницкий. – Москва: Почвенный ин-ут им. В.В. Докучаева, 2008. – 85 с.
36. Позинский А.А., Мироненко Е.В. Механизмы поглощения свинца (Pb) почвами // Почвоведение, 2001. № 4. С. 418-429.
37. Ganley J.J., Springer G.S. Physical and chemical characteristics of particulates in spark ignition engine exhausts // Environ. Sci. Technol. 1974 V. 8 P. 340-347.
38. Garcia-Miragaya J. Levels, chemical fractionation, and solubility of soil lead in roadside soils of Caracas, Venezuela // Soil Sci. 1984 V. 138 P. 147-152.
39. Геохимия тяжелых металлов в природных и техногенных ландшафтах / Под ред. М.А. Глазковой. М: Изд-во МГУ, 1983 195 с., Полянский Н.Г. Свинец. М.: Наука, 1986 357 с.
40. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1984. 357 с.
41. Горная энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1989. 469 с.
42. Обущенко С.В., Гнеденко В.В. Мониторинг содержания микроэлементов и тяжелых металлов в почвах Самарской области // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 7. – С. 30-34.
43. Соколова П.С., Ткаченко А.В. Определение содержания цинка в окружающей среде / П.С. Соколова, А.В. Ткаченко // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 11. – С.793-794.
44. Медведев И.Ф. Тяжелые металлы в экосистемах: монография / И.Ф. Медведев, С.С. Деревягин. – Саратов: «Ракурс», 2017. – 178 с.
45. Nriagu J. Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere // Nature. – 1979a. – V.279. -P. 409-411.
46. Черных Н.А., Овчаренко М.М. Тяжелые металлы и радионуклиды в биогеоценозах. – М.: Агроконсалт, 2002. – 200 с.
47. Шедужен А.Х. Биогеохимия. - Майкоп: ГУРИПП Адыгея, 2003. – 1028 с.

48. Летунова С. В., Кривицкий В. А. Концентрирование цинка биомассой почвенной микрофлоры в условиях Южно-Уральского медно-цинкового субрегиона биосферы. — *Агрохимия*, 1979. - № 6. - С. 104 – 108.
49. Ниязова Г. А., Летунова С. В. Накопление микроэлементов почвенной микрофлорой в условиях Сумсарской свинцово-цинковой биогеохимической провинции Киргизии // *Экология*. – 1981.- № 5.- С. 89-90.
50. Титов. А.Ф. Устойчивость растений к кадмию (на примере семейства злаков): учебное пособие / А.Ф. Титов, Н.М. Казнина, В.В. Таланова; ред. М.А. Радостина – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. – 55 с.
51. Черных Н. А. Формы и трансформация соединений свинца и кадмия в разных типах почв / Н.А. Черных, Джагат Прасанна // *Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. – 2000. – №4. – С. 82-88.
52. Atmospheric heavy metal deposition in Northern Europe 1990. Nord 12. Nordic Council Ministers, 1992. - 41 p.
53. Алексеенко В.А. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов: монография / В.А. Алексеенко, А.В. Алексеенко. – Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета, 2013. – 380 с.
54. Wang M. Copper distribution and contamination in soils of China / M. Wang., X. Zhang, Z. He, X. Zhang, Y. Liang, P.J. Stoffella. – *Journal of environmental management*, 2016. – 146-154 p.
55. Singh R. Heavy metal contamination in soil and vegetables / R. Singh, M. Kumar. – *Journal of agricultural science and technology*, 2019. – 799-812 p.
56. Bini C. Copper distribution and speciation in soil profiles of a contaminated area: The role of copper ox-ides and organic matter / C. Bini, L. Maleci, M. Wahsha. – *Geoderma*, 2013. – 338-346 p.
57. Young T.M. Copper migration in soil columns: Effects of organic matter and soil texture / T.M. Young, B.R. James, T.A. Anderson. – *Journal of environmental quality*, 2014. – 1048-1055 p.
58. Liu X. Heavy metal contamination of soils and vegetables in the vicinity of a large-scale Pb/Zn mine in Hunan Province, China. / X. Liu, Q. Song, Y. Tang, W. Li, J. Xu, J. Wu, P.C. Brookes. – *Ecotoxicology and environmental safety*, 2017. – 164-173 p.
59. Zhao J. Occupational toxicology of nickel and nickel compounds / J. Zhao, X. Shi, V. Castranova, M. Ding. – *J Environ Pathol Toxicol Oncol*, 2009. – 177-208 p.
60. Абрамова Е.Н. Распределение никеля в почвах / Е.Н. Абрамова, Н.В. Лукина // *Вестник Оренбургского государственного университета*. – 2013. – № 2. – С. 5-9.

61. Горшков А.Г. Миграция никеля в почвах / А.Г. Горшков, В.П. Шамов, Н.А. Кузнецова // Экологическая безопасность и природопользование. – 2017. – № 4. – С. 77-82.
62. Водянова М.А. Эколого-гигиеническая оценка качества почв урбанизированных территорий / М.А. Водянова, И.А. Крятов, Л.Г. Донерьян, И.С. Евсеева, Д.И. Ушаков, А.В. Сбитнев // Гигиена и санитария. – 2016. – № 10. – С. 913-916.
63. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: утв. постановлением Главного гос. врача РФ от 28.01.2021 №2. Введены с 01.03.2021. // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 09.01.2025).
64. СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий: утв. постановлением Главного гос. врача РФ от 28.01.2021 №2. Введены с 01.03.2021. // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573536177> (дата обращения: 09.01.2025).
65. МУ 2.1.7.730-99 Методические указания. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы: утв. постановлением Главного гос. врача РФ от 05.02.1999. Введены 05.04.1999// Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003852> (дата обращения: 09.01.2025).
66. Свод правил СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ». Внесен техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»: утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 16 июля 2021 г. №475/пр. Дата введения 2022-07-16 // Минстрой России – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/131522/> (дата обращения 10.01.2025).
67. Пуховская Т.Ю. Влияние урбанизации на почвенный покров (на примере Москвы) / Т.Ю. Пуховская // Города России: проблемы строительства, инженерного обеспечения, благоустройства и экологии. – 2021. – С. 163-168.
68. Почвенно-географическая база данных России. Информационная система: [сайт]. – URL: <https://soil-db.ru/soilatlas/razdel-7-antropogennye-izmeneniya-pochvi-pochvennogo-pokrova/zagryaznenie-pochv-tyazhelyimi-metallami> (дата обращения: 02.06.2024).

69. Жарикова Е.А. Тяжелые металлы в городских почвах: оценка содержания и экологического риска / Е.А. Жарикова // Известия ТПУ. – 2021. – № 1. – С. 164-173.
70. Савченко О.В. Загрязнение почвы тяжелыми металлами в г. Владивостоке / О.В. Савченко // Мед. Труда и пром. экол. – 2011. – № 7. – С. 45-47.
71. Васин Д.В. Современные подходы к нормированию содержания тяжелых металлов в почве / Д.В. Васин // Архивариус. – 2021. – № 3. – С. 8-10.
72. Жарикова Е.А. Экологическое состояние почв придорожной полосы автомагистрали Уссурийск-Пограничный на приграничной территории / Е.А. Жарикова, О.М. Голодная, А.Д. Попова // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2022. – № 4-2. – С. 21-27.
73. Карта оценки экологического состояния Владивостока / редактор А.И. Бурого, авторы-составители А.И. Бурого, С.А. Шлыков // Комитет по геологии и использованию недр Приморского края, Многопрофильная инновационная фирма «Экоцентр». – 1995 г.
74. Ле Хонг Хаи. Загрязнение воздуха твердыми частицами в пяти точках Владивостока (морской и автомобильный транспорт) // Вестник ИШ ДВФУ. – 2020. – № 3. – С. 93-103.
75. Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Приморскому краю: [сайт]. – URL: [http://25.rospotrebnadzor.ru/306/-/asset\\_publisher/XbM9/content/государственный-доклад-о-состоянии-санитарно-эпидемиологического-благополучия-населения-в-приморском-крае-в-2022-го-ду?redirect=http%3A%2F%2F25.rospotrebnadzor.ru%2F306%3Fp\\_p\\_id%3D101\\_INSTANCE\\_XbM9%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3Dcolumn-1%26p\\_p\\_col\\_count%3D1](http://25.rospotrebnadzor.ru/306/-/asset_publisher/XbM9/content/государственный-доклад-о-состоянии-санитарно-эпидемиологического-благополучия-населения-в-приморском-крае-в-2022-го-ду?redirect=http%3A%2F%2F25.rospotrebnadzor.ru%2F306%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_XbM9%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1) (дата обращения: 10.01.2025).
76. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2020 году. – Текст: электронный // Официальный сайт Правительства Приморского края: [сайт]. – URL: <https://primorsky.ru/> (дата обращения: 10.01.2025).
77. Сорокин А.Е. Особенности содержания тяжелых металлов в городских почвах / А.Е. Сорокин, В.И. Савич, Л.В. Мосина // Плодородие. – 2020. – № 4. – С. 60-63.
78. Копылов И.Д. Влияние выбросов вредных веществ в атмосферу на загрязнение почвы / И.Д. Копылов, Р.Ф. Березина, О.А. Рапопорт, Г.Н. Рудой, Д.В. Кузьмин // Мед. Труда и пром. экол. – 2016. – № 10. – С. 20-24.
79. Еноктаев Ю.В. Влияние автотранспорта на окружающую среду / Ю.В. Еноктаев, Р.Р. Забелин, Д.В. Чурносков, А.С. Мулдашов, В.А. Аллай, А.Ю. Сагач, А.Б. Чембулатов, А.М. Теркулов // Науч. журнал. – 2021. – № 2. – С. 36-37.

80. Гусева А.Н. Сельскохозяйственные факторы производства как источник загрязнения окружающей среды / А.Н. Гусева, З.Р. Цуканова, Е.Н. Мерцалов // СССК. – 2021. – № 1-2. – С. 23-26.
81. Капитонов И.А. Международный опыт внедрения рациональных методов утилизации и обезвреживания твердых бытовых отходов / И.А. Капитонов, К.Н. Пармененков, Ю.К. Бронская // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 1. – С. 33-41.
82. Басов Ю.В. Влияние осадков сточных вод на агроэкологические показатели почв / Ю.В. Басов, К.Н. Гуляева // Вестник ОрелГАУ. – 2015. – № 3. – С. 67-71.
83. Эрмахаматова Э.В. Формирование и развитие экологического картографирования / Э.В. Эрмахаматова, Р.А. Угли. Кувондиков // SAI. – 2022. – №С3. – С. 285-292.4
84. Каурова З.Г. Применение в эпизоотологическом картографировании экологической информации / З.Г. Каурова, Л.А. Мкртчян, М.Э. Мкртчян, В.А. Кузьмин, С.И. Шаныгин, А.В. Цыганов, Л.С. Фогель, Д.П. Боталова // Ученые записки КГАВМ им. Н.Э. Баумана. – 2022. – № 3. – С. 141-149.
85. Соболева Е.В. Свинец в почвах и растениях г. Уссурийска и Уссурийского района / Е.В. Соболева, Л.Т. Ковековдова // Исследовано в России. – 2003. – № 6. – 2188-2195.
86. Колпаков В.В. Ранжирование почв районов городов Уссурийск и Находка по уровню содержания элементов / В.В. Колпаков // Архивариус. – 2015. – № 2. – С. 9-12.
87. Авдощенко В.Г. Содержание тяжелых металлов в почвах Петропавловска-Камчатского (Камчатский край) в 2017-2018 гг / В.Г. Авдощенко, А.В. Климова // Вестник КамчатГТУ. – 2020. – № 52. – С. 50-63.
88. Дегтярева Т.В. Особенности трансформации микроэлементного состава почв города Ставрополя под влиянием урбогенеза / Т.В. Дегтярева // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2023. – № 1. – С. 49-60.
89. Химическое загрязнение почв Приморского края как фактор риска для здоровья населения / И.Л. Иванова, А.А. Важенина, Л.В. Кислицина // Санитарный врач – 2022. – №9
90. Гигиеническая оценка содержания тяжелых металлов в почве и питьевой воде Приморского края / Н.В. Манахова, И.Е. Трунова // Здоровье. Медицинская экология. – 2009. – №3
91. Блог компании ООО «Искра. Эксперт» // ООО «Искра. Эксперт»: официал. сайт предприятия: [сайт] – URL: <https://iskra.expert/news/tpost/cdzugabtn1-11-sentyabrya-nam-ispolnilos-7-let> (дата обращения: 13.01.2025).
92. Информация о деятельности компании ООО «Искра.Эксперт» // Список организаций Rusprofile: [сайт] – URL: <https://www.rusprofile.ru/id/7502030> (дата обращения: 21.01.2025)

93. Услуги компании ООО «Искра.Эксперт» // ООО «Искра. Эксперт»: официал. сайт предприятия: [сайт] – <https://iskra.expert/audit-i-konsalting> (дата обращения: 21.01.2025)

94. Руководящий документ РД 52.18.685-2006 «определение массовой доли металлов в пробах почв и донных отложений Методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии». Изменение N 1/44 РД 52.18.685-2006 введено в действие с 01.12.2020 Приказом Росгидромета от 12.07.2019 N 341: утв. Заместителем Руководителя Росгидромета от 27.11.2006. Дата введения 2008-01-01 // Росгидромет – URL: <https://docs.cntd.ru/document/898937281?marker=7D20K3> (дата обращения 20.01.2025)