



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

На тему Эколого-токсикологическая оценка природных  
и антропогеннопреобразованных почв Мурманской области

**Исполнитель** Веселкова Ирина Дмитриевна

(фамилия, имя, отчество)


**Руководитель** кандидат биологических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Рижия Елена Яновна

(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой**

  
(подпись)

кандидат биологических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Мухин Иван Андреевич

(фамилия, имя, отчество)

«16» ноября 2024 г.

Санкт-Петербург

2024

## Содержание

Введение .....	4
Глава 1. Экологическое состояние земельного фонда Мурманской области.....	7
1.1. Земельный фонд Мурманской области.....	7
1.2 Физико-географическое описание Мурманской области.....	9
1.2.1 Геологическое строение и рельеф .....	9
1.2.2 Климат и поверхностные воды региона .....	11
1.2.3 Почвенно-растительный покров .....	12
1.3 Обзор основных предприятий Кольского полуострова, оказывающих влияние на загрязнение почв .....	14
Глава 2. Основные токсиканты почв.....	17
2.1 Загрязнение почв тяжелыми металлами.....	17
2.2. Влияние металлургических предприятий на состояние почв .....	20
2.3. Загрязнение почв промышленными предприятиями по добыче и переработке фосфорсодержащих минералов.....	22
2.4. Влияние предприятий атомной энергетики на почвенную среду.....	23
Глава 3. Объекты и методы исследования..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1. Объекты исследования – почва.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2. Методы исследования .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Глава 4. Эколого-токсикологическая оценка почв на участках исследования вдоль трассы Кола .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1. Химическая и физическая характеристика почвенных образцов .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2. Показатели ТМ в почвах исследуемых участков	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.1. Медь .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.2. Марганец.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.3 Никель .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

4.2.4. Цинк .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.5. Свинец .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.6. Кадмий .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.7. Биотест .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3. Степень загрязнения почвы (превышение величины ПДК, кратность) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4. Индекс суммарного загрязнения почв ( $K_{\Sigma}$ ) и категория загрязнения исследуемых участков ( $Z_c$ ).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Заключение .....	25
Глава 5. Рекомендации.....	27
Список литературы .....	28

## Введение

Оценка качества окружающей среды имеет большое значение как при планировании, так и при реализации любых действий, связанных с природопользованием, охраной природы и обеспечением экологической безопасности. Комплексная эколого-токсикологическая оценка исследуемых объектов любой территории входит в состав важной базовой составляющей экологического мониторинга. Особое внимание при этом уделяется такому природному (или природно-антропогенному объекту) как почва и земля. Почва является незаменимым, исчерпаемым, относительно возобновимым природным ресурсом. В результате антропогенного воздействия она теряет свое плодородие быстрее, чем оно успевает восстанавливаться [23].

Изучение почвы позволяет оценить ее способность выполнять функции, обеспечивающие устойчивость биocenозов и стабильность биосферы в целом. Их специфика и сложность физического, химического и биологического состава, расположенных на территориях разного функционального назначения, требуют ежегодного внимания для оценки их состояния и регулирования допустимого антропогенного воздействия в соответствии с требованиями обеспечения экологической безопасности [40].

Другая важная задача исследования загрязнения почвенной среды токсичными веществами — определение пространственного распределения очагов загрязнения, обнаружение источников вредного воздействия, масштабов областей их влияния на население и оценка этого воздействия. Решение этих задач необходимо для разработки природоохранных мер, а также для экологического обоснования планов развития и размещения производственных сил, генеральных планов городов и территориально-производственных комплексов. [21].

Выбор набора параметров для эколого-токсикологической оценки — это отдельная методическая задача. При её решении следует принимать во внимание почвенно-климатические условия изучаемой местности, специфику

движения воздушных потоков и вероятность загрязнения экосистем промышленными выбросами расположенных рядом предприятий. Обязательное условие – проведение исходного химического анализа почв по содержанию в них тяжелых металлов [13].

Без знаний эколого-токсикологического состояния почвенного покрова территории невозможна разработка стратегии рационального землепользования. Мурманская область входит в число наиболее промышленно развитых регионов Арктической зоны. Здесь активно развивается энергетическая, рыбная и горнодобывающая промышленность. Ведется промышленное производство меди, никеля, кобальта, некоторых полуфабрикатов благородных металлов, первичного алюминия, апатитового концентрата. В совокупности на экосистемы области оказывается огромная антропогенная нагрузка. В 2023 году Росреестр выявил, что антропогенное воздействие на почву в регионе превысило допустимые нормы в таких районах как Мончегорск, Заполярный и Никель, в некоторых экосистемах данных районов наблюдается техногенное опустынивание и разрушение экосистем. Общая площадь нарушенных земель на 01.01.2022 г. составила 19,7 тыс. га, или 0,1 % от всей Мурманской области [35].

Таким образом, в почвенных профилях, сочетающих свойства земледельческих и городских почв на фоне своеобразных природных факторов почвообразования наблюдаются изменения свойств почв, в разной степени преобразованных различными видами деятельности человека. Несмотря на постепенное изменение, загрязнение тяжёлыми металлами территории области к XXI веку приобрело кризисный характер, главным образом из-за разнообразия техногенных источников, активного включения металлов в процессы биохимической миграции и их токсичности для живых организмов [34]. Поэтому эколого-токсикологическая оценка продолжает оставаться актуальной темой исследования.

Цель работы - изучение степени загрязнения природных и придно-антропогенных почв Мурманской области тяжёлыми металлами на основании оценки их валового и подвижного содержания.

Задачи:

1. Анализ современного состояния земельного фонда, природных и географических особенностей Мурманской области
2. Определение типичных почвенных объектов на контрольных участках и территориях с антропогенным воздействием в Мурманской области, отбор почвенных проб и изучение их основных химических и физических характеристик.
3. Изучение содержания тяжелых металлов в образцах почв
4. Оценка загрязненности почв исследуемой территории и определение категории их загрязненности
5. Практические рекомендации по восстановлению нарушенных почв в Мурманской области

Объектом исследования являются земли, находящиеся под антропогенным воздействием, на территории Мурманской области.

Предмет исследования – мониторинг природных и антропогеннопреобразованных земель.

Научная новизна обусловлена уникальной коллекцией образцов почв из закрытых территорий Мурманской области и анализом их эколого-токсикологического состояния в условиях возрастающей техногенной нагрузки современного Заполярья.

Практическая значимость исследования заключается в том, что фактический материал, полученный в ходе исследования, может служить базой данных для дальнейшего изучения как рассматриваемой территории, так и сопредельных регионов.

## Глава 1. Экологическое состояние земельного фонда Мурманской области

### 1.1 Земельный фонд Мурманской области

Земельный фонд Мурманской области подразделяется на различные категории в зависимости от целевого назначения. Выделяются сельскохозяйственные угодья, земли поселений, промышленные и транспортные зоны и так далее, представленные на рисунке 1 (состояние земельного фонда Мурманской области на 1 января 2023 года). Исходя из данных Росреестра (обобщённые сведения Единого государственного реестра недвижимости о кадастровом делении, об учёте земельных участков и регистрации прав на них за 2023 год), площадь всех земель области составляет 14490,2 тысячи га.

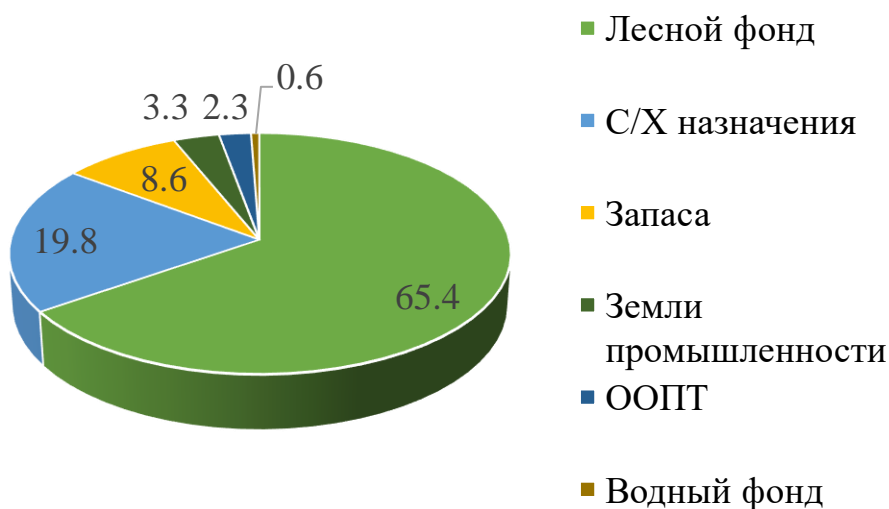


Рисунок 1 – Структура земельного фонда Мурманской области (на 01.01.2023, Росреестр)

Как видно из представленного рисунка, в структуре земельного фонда большая площадь приходится на земли лесного фонда (65,3% территории области). Примерно в 3,5 раза меньше, по сравнению с данной категорией,

приходится на земли сельскохозяйственного назначения (19,8%). На третьем месте по количеству земель находятся земли запаса - 8,7%. Не смотря на активно развитую промышленность, на долю земель данной категории приходится 3,3%. При этом доля земель особо охраняемых природных территорий составляет 2,3%, а водного фонда – 0,5%. Наименьший удельный вес в структуре земельного фонда области занимают земли населённых пунктов - 0,44%.

Для Мурманской области характерна широтная ландшафтная зональность. Здесь выделяются тундровая зона (около 20 % площади) и бореальная зона, которая делится на две подзоны: лесотундровую и северотаёжную (до 30 % от общей площади). Леса Мурманской области расположены в пределах границ северотаёжной и лесотундровой подзон. На севере области распространены берёзовые леса, а на равнинах преобладают хвойные леса из елей и сосен. Болота и болотные почвы занимают 40 % площади и наиболее распространены в юго-восточной равнинной части региона, где в некоторых районах они могут занимать до 80 % территории.

Естественные луга, занимающие узкие поймы рек и озёр, составляют всего 0,03 % от общей площади. Пахотные угодья имеют небольшую площадь, и основная их часть представлена осушенными болотами. Сельскохозяйственные земли сосредоточены вблизи крупных городов.

На обширной территории Кольского полуострова господствуют альфегумусовые подзолы, сформировавшиеся на породах разного происхождения, основой которых служат магматические породы Балтийского кристаллического щита. В подзонах южной тундры и лесотундры, а также в лесных зонах горных массивов встречаются иллювиально-гумусовые и иллювиально-железистые подзолы и подбуры. Кроме того, широко распространены почвы гидроморфного ряда — торфяные почвы различного происхождения: торфяные эуτροφные (низинные болота) и торфяные олиготрофные (верховые болота). Почвы переходных (мезотрофных) болот по основным характеристикам похожи на почвы низинных болот.



Общая площадь повреждённых земель составляет примерно 22 тысячи гектаров, или 0,2 % от всей территории региона. Главная причина нарушений — разработка месторождений полезных ископаемых, их обработка и геологоразведочные мероприятия [27]. Более подробный анализ состояния земельного фонда представлен в следующих подглавах.

## 1.2 Физико-географическое описание Мурманской области

Область расположена в северо-западном регионе России и находится на Кольском полуострове. Она относится к Арктической зоне и составляет 0,6 % от общей территории этой зоны. Кольский полуостров по площади в три раза превышает размеры Бельгии, Нидерландов и Дании. Он протянулся с севера на юг от 70° северной широты (мыс Рыбачий) до 60° северной широты, что составляет более 1000 километров. С запада на восток территория занимает примерно 500 километров. На севере и востоке область омывается Баренцевым и Белым морями.

Кольский полуостров расположен в пределах Балтийского кристаллического щита, относящегося к древнейшей части Евразии, однако природа региона относительно молода из-за оледенений. В целом, такие характеристики как геологическое строение, физико-географические особенности территории, сильная расчлененность рельефа, большое количество озер, сравнительно мягкий и влажный климат схожи с прилегающими районами Скандинавии и Карелии.

Благодаря тёплому Нордкапскому течению климат здесь сравнительно мягкий, имеется множество озёр и рек, а леса в основном состоят из сосен и часто бывают заболочены. На севере расположены тундра и лесотундра. Эти особенности природы позволяют выделить этот регион в отдельную физико-географическую страну [46].

### 1.2.1 Геологическое строение и рельеф

Геологическая основа Мурманской области состоит из архейских и протерозойских толщ, известных как Балтийский кристаллический щит. В этом регионе встречаются такие минералы, как граниты, гнейсы, кварциты, кристаллические сланцы, мрамор и песчаники. Кольский полуостров в основном представлен горстом, окружённым сбросами со всех сторон. Макро-, мезо- и микроблоки ограничены тектоническими склонами разной длины, высоты и ориентации. Некоторые из них имеют прямой угол наклона и считаются молодыми, в то время как другие были подвержены эрозионным процессам. Замкнутые котловины образуются на пересечении тектонических зон и разломов, и в настоящее время они заполнены озёрами и речными долинами [49].

Самые высокие точки расположены на западе Кольского полуострова, где есть низкие горные массивы с плоскими вершинами высотой от 900 до 1000 метров (Хибины). Самая высокая гора — Часначорр (1190 метров). На востоке полуострова рельеф более волнистый, с высотами от 150 до 250 метров над уровнем моря. Ледниковые ландшафты занимают различные по форме площади (до 250 км<sup>2</sup>) или образуют пояса (до 70 × 10 км). Обширные участки грядово-ледникового рельефа расположены на плато и склонах возвышенностей на высотах около 180–320 м над уровнем моря (н. у. м.). При этом пояса грядовых форм рельефа прослеживаются на равнинах с маломощным чехлом четвертичных отложений (до 5–10 м) на высотах от 80–100 до 260 м над уровнем моря [41].

В течение четвертичного периода территория Балтийского щита подвергалась сильному влиянию ледниковой эрозии. Направление движения ледника в основном совпадало с расположением тектонических структур. На Кольском полуострове часто можно встретить бараньи лбы и курчавые скалы. Ледник сформировал фьорды на северо-западе полуострова, а также радиальные хребты, образованные флювиагляциальными отложениями, известными как озы. [45].

## 1.2.2 Климат и поверхностные воды региона

Кольский полуостров, благодаря Гольфстриму (Нордкапскому течению), омывающему его северное побережье, свободен ото льда на побережье. Из-за Гольфстрима распространен относительно мягкий и стабильный климат, нет вечной мерзлоты. Средняя температура января составляет  $-8^{\circ}\text{C}$  на северном побережье и  $-12\dots-15^{\circ}\text{C}$  в центре полуострова, а средняя температура лета варьирует от  $8$  до  $14^{\circ}\text{C}$ .

Однако зима характеризуется частыми метелями, вызывающими большие снежные заносы. Лето короткое, длится всего несколько месяцев, и, как правило, прохладное и дождливое.

Осадки в Мурманской области выпадают чаще и в большем количестве, чем в регионах с более континентальным климатом. В равнинных районах годовая норма осадков составляет от  $400$  до  $500$  миллиметров, увеличиваясь возле морского побережья. В горных областях этот показатель достигает от  $800$  до  $1200$  миллиметров в год. Большая часть годовых осадков приходится на летние месяцы, когда влажный воздух с континентов поступает в регион.

Мурманская область богата поверхностными водами. Озер насчитывается более  $170$  тысяч. На Кольском полуострове много небольших, но быстрых рек с порогами. К числу наиболее крупных относятся реки Поной, Варзуга, Умба, Териберка, Воронья и Йоканьга. Самая крупная водная система — река Чуна, впадающая в Чунозеро, площадью  $21$  кв. км. Большинство рек берут начало из озер и болот и набирают воду из тающего снега. Реки покрываются льдом зимой, хотя участки с сильными порогами замерзают позже или не замерзают вообще.

Крупные озера — Имандра, Умбозеро и Ловозеро. Озер площадью менее  $0,01$  кв. км нет. Реки богаты гидроэнергией, на многих из них построены ГЭС. Озера богаты рыбой. На крупных озерах развито судоходство. Транспортное значение имеет Беломорско-Балтийский канал (Онежское озеро – Выгозеро – Онежская губа – Белое море).

### 1.2.3 Почвенно-растительный покров

Геохронологические исследования показывают, что почвенный покров в этой местности относительно молодой. В результате экзогенных процессов формируются каменистые, щебнистые и песчаные грунты, которые служат материнской породой для формирующихся почв. На выступах коренных пород и крутых склонах почва отсутствует.

Почвы сильно переувлажнены, с хорошо развитым торфяным горизонтом, повсеместно распространены сфагновые болота. Почвы имеют промывной режим, а преобладающими типами почв являются различные альфегумусовые подзолы с высокой кислотностью.

Почти вся территория Мурманской области расположена за Полярным кругом в природных зонах южной тундры, лесотундры и северной тайги. Леса покрывают около половины полуострова, простираясь с северо-запада на юго-восток, и состоят из хвойных деревьев. Основными породами здесь являются сосна Фризе (*Pinus friesiana*, средний возраст деревьев 140 лет), ель сибирская (*Picea obovata*, 200 лет), а также береза бородавчатая (*Betula pendula*), береза субарктическая (*Betula subarctica*), береза извилистая (*Betula tortuosa*) и береза карликовая (*Betula nana*). Суровый климат и сложные почвенные условия приводят к медленному росту деревьев, что, однако, дает плотную, тонкослойную древесину, пригодную для мебели. Флора региона разнообразна и насчитывает около 600 видов.

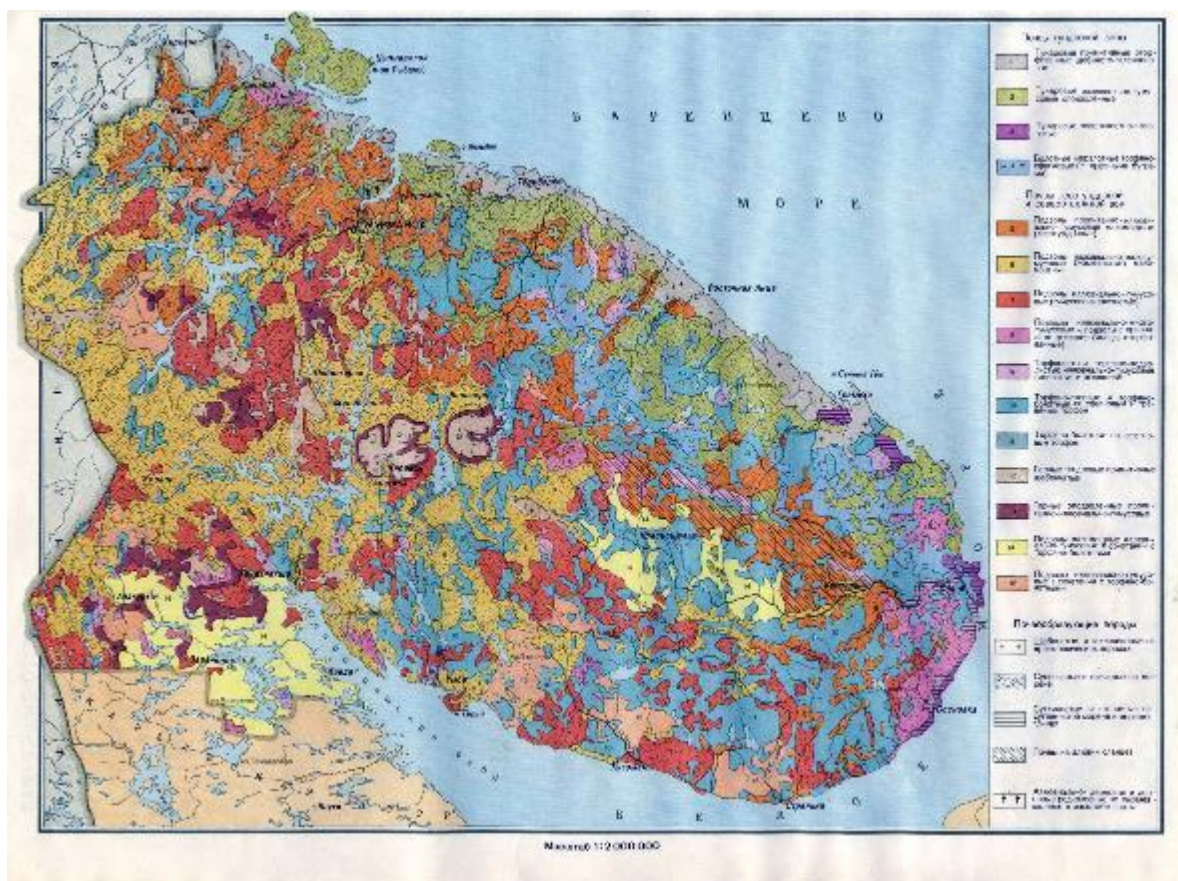


Рисунок 2 – Почвенная карта Мурманской области (Географический Атлас Мурманской области, 2020)

Иногда по долинам рек встречаются небольшие участки канареечниковых, вейниковых и мятликовых лугов. В горах на плоском рельефе - злаково-разнотравные луговины. Здесь произрастают мятлик альпийский, кисличник, вороника, бартсия, крестовник скученный и некоторые осоки.

Западная и центральная части Кольского полуострова отличаются богатым растительным миром, включающим хвойные леса и горную тундру. Здесь растут различные ягоды, такие как брусника, черника, морошка и голубика, а также много мхов и лишайников. Однако нерациональное использование лесных ресурсов, развитие промышленности и недостаточная борьба с загрязнением привели к серьёзному ущербу для лесов, особенно вблизи крупных промышленных городов, таких как Мурманск, Мончегорск, Оленегорск и Печенга (включая Никель).

### 1.3 Обзор основных предприятий Кольского полуострова, оказывающих влияние на загрязнение почв

К числу предприятий, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду Мурманской области, относятся атомные электростанции, объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта, морские порты, фермы по разведению крупного рогатого скота, птицы и прочие. Но особое внимание уделяется предприятиям горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленности (особенно нефтеперерабатывающей, химической, металлургической), а также объектам энергетики.

Горнодобывающая промышленность играет ключевую роль в современной экономике области. Она обеспечивает сырьем для широкого спектра отраслей - от производства строительных материалов до высокотехнологичной электроники.

С середины 20-го века промышленность Кольского полуострова активно развивалась. Особенно это заметно в сегменте горнодобывающей промышленности. Яркими представителями этого являются холдинги Норникель, Фосагро и Росатом.

Акционерное общество «Кольская горно-металлургическая компания» (АО «Кольская ГМК») — дочернее предприятие ПАО «ГМК «Норильский никель». Это ведущий производственный комплекс Мурманской области, созданный на базе старейших предприятий региона — комбинатов «Североникель» и «Печенганикель», ориентирующихся на добычу сульфидных медно-никелевых руд и производство цветных металлов.

Подразделения Кольской горнометаллургической компании территориально удалены друг от друга. Они находятся в центре Кольского полуострова — в городе Мончегорске (ранее — комбинат «Североникель») и на самом северо-западе Мурманской области — в посёлке Никель и городе Заполярном (ранее — комбинат «Печенганикель»).

В «Норникеле» принята Стратегия в области экологии и изменения климата. На ее основе сформирована экологическая программа Кольского дивизиона компании, в структуре которого находится Кольская ГМК.

Всего в программу входят 172 мероприятия, запланированных до 2031 года, общей стоимостью более 54 млрд рублей. Часть мероприятий уже реализуется.

Начата реализация Серной программы, направленной на кардинальное улучшение окружающей среды, в рамках которой в 2020 году закрыт Плавильный цех в пгт. Никель, а также в 2021 году — Metallургический цех в г. Мончегорске.

Сегодня в Кольской ГМК готовятся приступить к строительству нового медерафинировочного производства в Мончегорске. Проект является частью стратегии по модернизации и замене устаревших и неэкологических технологий.

Группа «Фосагро» является другим важным лидером, оказывающим влияние на экологическую обстановку области. Предприятие производит фосфорсодержащие минеральные удобрения и высокосортный апатитовый концентрат с содержанием  $P_2O_5$  (39 %). Предприятие разрабатывает шесть Хибинских месторождений: Кукисвумчоррское, Юкспорское, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр, Кашвинское и Ньоркпахкское.

Холдинг предлагает широкий ассортимент продукции, которая востребована клиентами из 102 стран мира. Основные рынки сбыта продукции, помимо России и стран СНГ, включают страны Латинской Америки, Европы и Азии.

Третий важный объект – предприятия атомной энергетики, которых на территории области расположено в предостаточном количестве.

К числу наиболее важных объектов относится Кольская атомная станция – филиал АО «Концерн Росэнергоатом» (Кольская АЭС). Располагается рядом с г. Полярные Зори на берегу оз. Имандра. Эксплуатируются блоки по типу ВВЭР-440.

В области функционирует такой важный холдинг как Атомфлот. В его ведении 11 реакторов ледокольного флота и суда атомно-технологического обслуживания. В число важных объектов холдинга входит хранилище твёрдых отходов, хранилище кондиционированных РАО, хранилище ОЯТ контейнерного типа, береговой пост загрузки ОЯТ, накопительная площадка ОЯТ и спецпрачечная.

На территории области располагается филиал ФГУП «ФЭО» - Северо-Западный центр по обращению с радиоактивными отходами «СевРАО», имеющий три отделения с пунктами хранения накопленных РАО – Сайда-Губа, губа Андреева, Гремиха.

Не следует забывать и такой деятельности области – как проведение судоремонтных предприятий. К числу наиболее крупных предприятий в данном направлении функционирует завод «Нерпа» (СРЗ «Нерпа») (г. Снежногорск) и филиал АО «Центр Судоремонта «Звездочка», входящий в состав АО «Объединенная судостроительная корпорация» (ОСК), занимается утилизацией выведенных из эксплуатации атомных подводных лодок, сбором, временным хранением твёрдых и жидких РАО. «35 судоремонтный завод» проводит комплексные ремонты кораблей и судов Военно-Морского. «10 ордена Трудового Красного Знамени судоремонтный завод» осуществляет ремонт, сервис и утилизация кораблей и судов АТО, также входящие в состав АО «Объединенная судостроительная корпорация».



## Глава 2. Основные токсиканты почв.

Основные источники загрязнения почвы включают химические вещества, образующиеся в результате промышленной деятельности, бытовые и животноводческие отходы, коммунальные отходы, агрохимикаты и нефтепродукты.

Наиболее распространёнными неорганическими загрязнителями почвы являются такие микроэлементы, как мышьяк (As), кадмий (Cd), хром (Cr), медь (Cu), ртуть (Hg), свинец (Pb), марганец (Mn), никель (Ni), цинк (Zn) и радионуклиды. Хотя эти элементы присутствуют в почве естественным образом, они могут представлять опасность для окружающей среды и здоровья людей, если их концентрация или химическая форма токсичны для живых организмов. Среди других распространённых загрязнителей почв можно выделить пестициды, нефтепродукты, радон, асбест, свинец, хромированный арсенат меди и креозот. Неорганические загрязнители по своей природе стойки и могут встречаться во многих различных формах, таких как соли, оксиды, сульфиды или органо-металлические комплексы, или могут присутствовать в форме ионов, растворённых в почвенном растворе, в зависимости от pH почвы [42].

### 2.1 Загрязнение почв тяжёлыми металлами

Тяжёлые металлы — это цветные металлы с плотностью выше плотности железа, группа элементов с металлическими свойствами, включающая переходные металлы, металлоиды, лантаноиды и актиниды. Некоторые из них являются необходимыми кофакторами для различных ферментов, в то время как другие не являются необходимыми. Они необходимы растениям в небольших количествах, но превышение нормы может вызвать серьёзные заболевания.

Загрязнение окружающей среды тяжёлыми металлами становится все более серьёзной проблемой для окружающей среды нашей планеты и

вызывает большую озабоченность мирового сообщества из-за неблагоприятных последствий, которые данные металлы вызывают во всем мире. Характеризуются высокой токсичностью, длительностью сохранения в почве и атмосфере, способности накапливаться в организме человека путем биоаккумуляции. Их присутствие в почве создаёт экологическую опасность для выращиваемой продукции. Из-за растущей деятельности сельскохозяйственного производства, промышленности, неправильной утилизации отходов, удобрений и пестицидов данные неорганические загрязнители попадают в почвы, воды и в атмосферу в количествах, превышающих предельно-допустимые концентрации [50].

Конечно, тяжелые металлы естественным образом присутствуют в земной коре с момента ее образования, но распространены крайне неравномерно, и их содержание в почвообразующих породах существенно варьирует. К естественным причинам увеличения содержания данных металлов относится вулканическая активность, коррозия металлов, испарение металлов из почвы и воды и повторное образование осадков, эрозия почвы, геологическое выветривание. Однако из-за антропогенной деятельности, в первую очередь из-за добычи металла, плавки, литейного производства, выщелачивания металлов из различных источников, таких как свалки, отвалы отходов, экскременты, помет домашнего скота и куриный помет, стоки, автомобили и дорожные работы, установлено их существенное увеличение в средах окружающей среды. Использование пестицидов, инсектицидов, удобрений и в сельскохозяйственной сфере стало вторичным источником загрязнения тяжелыми металлами в почвах [24]. Главные источники загрязнения — энергетический и металлургический сектора, а также добыча углеводородов и переработка руд. Сжигание угля, горючих сланцев и нефти приводит к более интенсивному загрязнению по сравнению с металлургическим производством [47].

Почвы являются основным поглотителем тяжелых металлов, выбрасываемых в окружающую среду в результате вышеупомянутой

антропогенной деятельности, и в отличие от органических загрязнителей, которые окисляются до оксида углерода (IV) под действием микроорганизмов, большинство металлов не подвергаются микробной или химической деградации, и их общая концентрация в почвах сохраняется в течение длительного времени после их внесения. Накопление тяжёлых металлов в почве нарушает физико-химический баланс экосистемы и запускает ряд процессов, которые ухудшают качество почвы. При высоких концентрациях меняется уровень pH, разрушается почвенный поглощающий комплекс, страдают микроорганизмы, а из-за нарушения структуры ухудшаются водный и воздушный режимы, истощается почвенный гумус, и в итоге земля теряет свою плодородность.

Поскольку тяжелые металлы не разлагаются и не могут подвергаться микробной или химической деградации, они остаются в почве в течение очень долгого времени, представляя значительную опасность для живых организмов, человека и окружающей среды из-за их свойств, в основном, сильной токсичности и сильной способности к накоплению. Ионы металлов не распадаются до конца в отличие от органических загрязняющих веществ, которые подвергаются биохимическому и химическому разложению в значительной степени. Продолжительное воздействие тяжёлых металлов может спровоцировать рак лёгких и переломы костей у людей. Что касается употребления обычных продуктов питания, таких как фрукты и овощи, которые были заражены ТМ, опасения относительно здоровья людей значительно возросли за последние десятилетия. Свинец, кадмий и мышьяк быстро распространяются по пищевой цепочке. Кадмий и свинец представляют серьёзную угрозу для здоровья, так как они быстро накапливаются в тканях и вызывают задержки в развитии у детей, а также тяжёлые последствия для слуховой системы, сердечно-сосудистой системы и почек [2, 5].

Чтобы адекватно защитить и восстановить почвенные экосистемы, загрязнённые тяжёлыми металлами, необходимо знать их основные

характеристики и проводить постоянный экологический мониторинг. Изучение почвенного слоя на предмет содержания тяжёлых металлов имеет огромное практическое значение. Ведь тяжёлые металлы могут быть опасными, поэтому важно, чтобы их концентрация не превышала предельно допустимый уровень. Полученные данные могут лечь в основу мониторинговых исследований и комплексной оценки состояния почвы. Современное законодательство в области охраны окружающей среды и здоровья населения основано на оценке рисков, связанных с химическими свойствами экологических явлений, которые могут влиять на пищевые цепочки. Этот подход позволяет принимать обоснованные решения для управления загрязнёнными территориями с учётом экономических интересов и заботы о здоровье людей и экосистем [37].

## 2.2. Влияние металлургических предприятий на состояние почв

Почва служит надёжным индикатором геоэкологической ситуации в промышленных и городских зонах, так как именно в ней концентрируются загрязняющие вещества. Металлургические заводы и центры по переработке полезных ископаемых загрязняют почву тяжёлыми металлами, серой, фосфором, фтором и полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ). Исследования показывают, что накопление химических веществ на территориях бывших горнодобывающих и металлургических производств негативно влияет на качество почвы в прилегающих районах, создавая риски для живых организмов. Этот риск возрастает, когда механическое выветривание, например дефляция, эрозия и термический стресс, взаимодействует с активным химическим выветриванием, гидратацией или гидролизом силикатов и карбонатов, способствуя выбросу загрязняющих веществ в окружающую среду [33; 44].

Значительное воздействие на почву оказывается через образование отвалов пустых пород в процессе металлургического производства. В России обычно перерабатывается меньше половины таких отвалов, большинство

остаются на территории заводов. Эти полигоны часто переполняются и захламляются, что вынуждает размещать отходы на новых территориях. Металлы, содержащиеся в отвалах, достаточно мобильны и подвижны. Их подвижность определяется осаждением, диффузией, улетучиванием и растворением нестабильных минералов, в дополнение к другим процессам поверхностного комплексообразования [43]. Биодоступность металлов варьирует в зависимости от pH, окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и содержания органических веществ в почвах [4], а также изменений в моделях землепользования [11].

К твёрдым отходам металлургической промышленности относятся, помимо отвалов, пыль электрофильтров, промежуточные и конечные отходы электролиза и коксования анодных материалов. Геоэкологические исследования выявили высокий уровень загрязнения территории вблизи Иркутского алюминиевого завода соединениями фтора, алюминия и натрия, содержание которых превышает фоновые значения более чем в 100 раз. В нерастворимом остатке, кроме алюминия, также обнаружены соединения магния и кальция [17].

В процессе плавки разрушается руда, содержащая не только металлы, но и другие химические вещества. В результате многие химические вещества из руды попадают в атмосферу. К некоторым химическим веществам относятся диоксид серы и фтористый водород.

В связи с негативным воздействием металлургической промышленности на экологию и почву, включая загрязнение почвы, необходимо принимать меры для снижения выбросов, фильтрации их в атмосферу, очистки сточных вод и комплексной переработки отходов. Также следует внедрять передовые технологии при строительстве и реконструкции металлургических предприятий, чтобы уменьшить количество выбросов вредных веществ в атмосферу, сбросов технических вод и загрязнение почвы. Такие действия улучшат экологическую обстановку как в районах расположения металлургических предприятий, так и на прилегающих территориях.

### 2.3. Загрязнение почв промышленными предприятиями по добыче и переработке фосфорсодержащих минералов

Производство фосфорсодержащих минеральных удобрений (ФМУ) является быстро развивающейся областью мировой химической индустрии и важной отраслью внутреннего и внешнего рынка России. В качестве сырья используются природные руды, такие как апатиты ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$  или  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2)_3 \times \text{CaF}_2$ ) и фосфориты ( $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{Cl})$ ). Эти руды содержат примеси нефелина, пироксенов и микроэлементов, количество которых варьируется в зависимости от месторождения. Например, содержание фтора и кадмия в хибинских фосфоритах ниже, чем в других месторождениях страны, но стабильный и радиоактивный стронций в них представлен в более высокой концентрации [36].

Отходы фосфорсодержащих минеральных удобрений представляют серьёзную угрозу для здоровья населения, проживающего вблизи предприятий, производящих эти удобрения. У жителей территорий, находящихся под прямым воздействием выбросов в атмосферу, наблюдается аномально высокий уровень общей неинфекционной заболеваемости (в 1,3–1,7 раза выше среднего по региону). Работники этих предприятий также имеют очень высокую общую заболеваемость, при этом преобладают заболевания органов дыхания, нервной системы, кожи и опорно-двигательного аппарата [9].

При производстве ФМУ образуют твёрдые отходы: на каждую тонну удобрений выделяется 3–5 тонн твёрдых фосфогипсовых отходов. Мировая статистика показывает, что из общего количества только 15% подвергаются вторичной переработке, а остальные - складываются в отвалы, занимающие большие площади и вызывающие экологические проблемы. Кроме того, загрязняется воздух: при производстве ФМУ выделяется 20–25 кг вредных веществ с отходящими газами на каждую тонну удобрений, загрязняются

водные объекты: предприятие сбрасывает в водоёмы 25–60 м<sup>3</sup> сточных вод на каждую тонну удобрений.

Фосфогипс может загрязнять почву и водные ресурсы при эрозии отвалов, химическом выщелачивании и изменении окислительно-восстановительных условий. В почвах вблизи предприятий, производящих фосфорсодержащие минеральные удобрения, часто содержатся опасные загрязнители (например, кадмий, свинец, цинк, медь и стронций) в концентрациях, превышающих фоновые значения. Распределение загрязняющих веществ зависит от расстояния до источника выбросов, направления ветра и перемещения загрязняющих веществ в почве [7].

#### 2.4. Влияние предприятий атомной энергетики на почвенную среду

Предприятия атомной энергетики оказывают прямое и косвенное воздействие на окружающую среду. Они вырабатывают большое количество электроэнергии с использованием радиоактивного топлива. Однако у этого способа есть и недостатки: строительство и эксплуатация атомных электростанций требуют значительных изменений ландшафта и соблюдения строгих санитарных норм. Кроме того, существует риск аварий и техногенных катастроф, связанных с ядерной энергетикой. Например, на территории Мурманской области расположено более 200 ядерных реакторов, четыре из которых принадлежат Кольской атомной электростанции, а также значительное количество атомных подводных лодок. При действии данного вида энергетики образуются отходы отработанного ядерного топлива, твёрдых и жидких радиоактивных отходов, с которыми не решены проблемы захоронения, утилизации и хранения, и поэтому они могут попадать в почву [1].

Небольшое количество радионуклидов выделяется в окружающую среду из реакторов, обычно оно значительно меньше допустимых значений, указанных в российских нормативных документах и рекомендациях МАГАТЭ. Участки с повышенным уровнем радиации представляют опасность

для здоровья человека, так как превышают установленные пределы. Безопасный уровень облучения для почвы и горных пород составляет не более 0,25–0,5 микрозивертов в год.

Радиоактивное загрязнение почвы на больших территориях требует принятия эффективных мер по восстановлению почвенной экосистемы. Почва после ядерных аварий становится вторичным источником радиоактивных элементов, которые долгое время распространяются по другим компонентам биосферы, в том числе через пищевые цепочки.

Самоочищение почвы от загрязняющих радионуклидов происходит благодаря природным процессам, таким как естественный распад, перемещение нуклидов по профилю почвы, горизонтальное рассеивание в результате смыва, эрозии, ветровой эрозии и выведения нуклидов из почвы растениями [20].



## Заключение

1. Определено, что в структуре земельного фонда Мурманской области большая площадь приходится на земли лесного фонда (65,3% территории области). Далее располагаются земли сельскохозяйственного назначения (19,8%) и земли запаса - 8,7%. На долю земель промышленной категории приходится 3,3%.

2. Установлено, что почвы Мурманской области, расположенные вдоль трассы Кола, не сильнощебнистые, с повышенным содержанием физического песка, характеризуются низкой устойчивостью к техногенным загрязнениям, т.к. относятся к песчаным и супесчаным по гранулометрическому составу. Для них характерна большая водопроницаемость, наличие нисходящих токов почвенных растворов, свободный внутренний дренаж, господство окислительных процессов и отсутствие оглеения.

3. Выявлено, что почвы исследуемых участков характеризуются сильнокислой и слабокислой реакцией почвенной среды. При этом с глубиной по профилю кислотность усиливалась по сравнению с верхним гумусовым горизонтом.

4. Определено, что верхние горизонты исследуемых почв Мурманской области содержат высокое количество общего углерода в верхнем слое 0-10 см из-за наличия торфянистой массы. Установлено, что в природных почвах (У1, У2, У8) содержание общего углерода больше, чем в природно-антропогенных почвах (У3, У4 и У7). При этом, данные почвы преимущественно урбоестественные и несут признаки природных почв, что связано с относительно коротким сроком освоения территории. С увеличением в слоях почвы минеральной массы, количество Собщ резко сокращается.

5. Результаты исследования показали, что все участки из блока природных почв имели более узкое соотношение С/N, по сравнению с

участками почв природно-антропогенных. Наиболее оптимальный баланс углерода и азота складывался в почвах У1 и У2, менее оптимальный – в почвах У4 (парк Мончегорска).

6. Установлено, что в почвах без антропогенного вмешательства из числа исследуемых металлов наибольшая доля приходится на содержание Mn, исключение составил участок У5 (Мончетундра), где на первом месте расположилась медь, а далее следовал марганец и никель. В почвах с антропогенным вмешательством - наибольшее количество приходится на содержание меди. Минимальное количество, как в природных почвах, так и антропогенно-преобразованных из изученного списка ТМ приходится на кадмий.

7. Результаты анализа содержания ТМ в почвах исследуемых участков показали, что в районе Мончегорска и Мончетундры сложилась чрезвычайно опасная ситуация по степени загрязнения почв медью и никелем, как в валовой, так и в подвижной форме. Абсолютные максимумы на данных участках достигали величин 2350 мг/кг по меди в Мончетундре и 726 мг/кг по никелю в Мончегорске. Кроме того, на участке 7 (г. Кола), уровень загрязнения почв цинком в валовой форме составил 1,3 ОДК, а по содержанию свинца – 1,5 ПДК.

8. Определено, что большинство почв исследуемых участков (У1, У2, У3, У6 и У8) относятся к категории неопасного суммарного загрязнения, участок 7 – к категории умеренно-загрязненных почв, а участки У4 и У5 – к категории опасного и чрезвычайного загрязнения почв тяжелыми металлами.

9. Все исследуемые участки почв Мурманской области, расположенные вдоль трассы Кола можно распределить в следующий возрастающий ряд по содержанию ТМ: У2П > У1П > У6ПА > У3ПА > У8П > У7ПА > У4ПА > У5П.

10. Оценка динамики изменения роста корневой системы с тест-объектом кресс-салатом с течением времени подтвердила существенное угнетение роста растений в варианте с почвой с участка в Мончетундре.

## Глава 5. Рекомендации

1. Для металлургического завода Мончегорска требуется отказаться от классической медеплавильной технологии, а использовать НДТ. В частности, рассмотреть возможность использования технологии медеаффинировочного производства по схеме «обжиг - выщелачивание - электроэкстракция», которая соответствует высоким экологическим стандартам и требованиям и апробируется на некоторых металлургических предприятиях России (например, Никеле).

2. В Заповедной зоне Мончетундры провести мероприятия по снижению уровня загрязнения и связыванию токсикантов в почве при постоянном контроле за содержанием токсикантов. Мероприятия по снижению уровня загрязнения и связыванию токсикантов в почве по проведению химической рекультивации почв в Мончетундре и Мончегорске должны включать следующие действия:

1. Нанесение естественного или искусственно созданного плодородного слоя поверх исходных загрязнённых почв. Этот слой должен быть основан на торфе, песке, опилках или осадке сточных вод.

2. Использование хемофитостабилизации для укрепления и улучшения состояния почвы.

3. Высадка саженцев деревьев и кустарников, а также посев травяно-злаковой смеси.

4. Внесение азофоски и извести для обеспечения растений необходимыми питательными веществами и улучшения структуры почвы.

Важно учесть, что перед проведением этих мероприятий необходимо провести предварительную оценку состояния почв и выбрать подходящие методы и материалы для рекультивации.

## Список литературы

1. Авдюшкина Ю.Н., Саулин В.А., Меркулова С.В. Радиационно опасные объекты на территории Мурманской области. XLVII Огарёвские чтения. Материалы научной конференции: в 3 частях. Том Часть 2. 2019. С. 450-255.
2. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. М., 1992. 200 с.
3. Алексеенко В.А. Цинк и кадмий в окружающей среде. М: Наука, 1992. 197 с.
4. Большина Е.П. Экология металлургического производства: курс лекций. Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2012. 155 с.
5. Васин Д. В. Современные подходы к нормированию содержания тяжелых металлов в почве // Архивариус. 2021. №3 (57).
6. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: Издательство АН СССР, 1957. 238 с.
7. Водяницкий Ю.Н. Оценка суммарной токсикологической загрязненности почв тяжелыми металлами и металлоидами // Агрехимия. 2017. № 2. С. 56–63.
8. Выборов С.Г., Павелко А.И., Щукин В.Н., Янковская Э.В. Оценка степени опасности загрязнения почв по комплексному показателю нарушенного геохимического поля // Современные проблемы загрязнения почв. Межд. научн. конф. М., 2004. С. 195-197.
9. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высшая школа, 1988, 324 с.
10. Губин А.Н. Кадмий в системе: торфяная низинная почва – растение // Плодородие. 2007. №2. С.35-36.
11. Другов Ю.С., Зенкевич И.Г., Родин А.А. Газохроматографическая идентификация загрязнений воздуха, воды, почвы и биосред. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2010. 752 с.

12. Ежов А.Ю. Медь и никель в ландшафтах северо-запада Кольского полуострова // Вестник Московского государственного областного университета. 2011. №2. С. 27-32.
13. Ефремова С.Ю., Шарков Т.А., Лукьянец О.В. Экологический мониторинг загрязнения почв // Известия ПгПу им. В.Г. Белинского. 2011. № 25. С. 568–571.
14. Иванищев В.В., Минайчев В.В., Кузнецов Д.А. Проектная деятельность в школе по биологии растений / Изучение влияния тяжелых металлов на растения в свете организации проектной деятельности учащихся средней школы: монография. Саарбрюккен: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. 111с.
15. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растения. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с
16. Каббата-Пендис А. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
17. Коряков А.Е., Шишкина А.А., Шишкина П.А. Воздействие предприятий металлургической промышленности на почву и пути его снижения. Системный анализ, управление и обработка информации. 2019. С. 371-374.
18. Кудеяров В.Н. Экологические проблемы применения удобрений. М.: Наука, 1984. 37с
19. Лодыгин Е.Д. Содержание кислоторастворимых форм меди и цинка в фоновых почвах Республики Коми // Почвоведение, 2018. № 11. С. 1322–1329.
20. Михайловская Л.Н., Молчанова И.В., Нифонтова М.Г. Радионуклиды глобальных выпадений в растениях наземных экосистем Уральского региона // Экология. 2019. № 1. С. 9–15.
21. Николаев В.А. Основы учения об агроландшафтах // Агроландшафтные исследования. М., 1992. 56 с.

22. Орлов Д.С. Образование гуматов кобальта, никеля, меди и цинка // Научные доклады высш.шк. Биол. науки. 1960. № 3. С. 62-66.
23. Осипов А.В., Колесниченко Т.В., Димитриенко О.В. Влияние антропогенных изменений на биологическую активность почв // Глобус. 2021. №7 (64). С. 26-29.
24. Потатуева Ю.А., Сидоренкова Н.К., Прищеп Е.Г. Агроэкологическое значение примесей тяжелых металлов и токсичных элементов в удобрениях // Агрехимия. 2002. №1. С.85-95.
25. Пятакова Л.П. Влияние тяжелых металлов на биологическую активность светло-серых лесных почв Центральной части Нечерноземной зоны: дис. ... к. с.-х. наук. Н.Новгород, 2008. 138 с.
26. Растворова О. Г. Физика почв (Практ. руководство). — Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. 193 с.
27. Росреестр. Почвы Мурманской области. Электронный ресурс: <http://www.rosreestr.gov.ru> > upload/to/murmanskaya-oblast/Stat-analit/2021
28. Селезнева Е.М. Влияние кадмия на некоторые морфофизиологические и биохимические показатели ячменя // Агрехимия. 2008. № 4. С. 82-86.
29. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
30. Сепов М. Особенности накопления тяжелых металлов в организме человека // Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве. 2004. № 3. С. 43-48.
31. Середина Валентина Петровна, Шайхутдинова Анастасия Нургалиевна, Овсянникова Светлана Васильевна Особенности поведения подвижных форм тяжелых металлов в почвах Кузбасса // Вестник ОГУ. 2015. №10 (185).
32. Сиромля Татьяна Ивановна Формы соединений свинца, кадмия и цинка в почвах юга Западной Сибири // Вестник ОГУ. 2017. №12 (212).

33. Ступин Д.Ю. Загрязнение почв и новейшие технологии их восстановления. М.: Лань, 2009. 432 с.
34. Тарасова А. А., Абакумов Е. В., Антропогенное почвообразование в Мурманске: первые результаты морфологического и физико-химического изучения // «Живые и биокосные системы». 2016. № 17; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-17/article-5>
35. Управление Росреестра по Мурманской области. Электронный ресурс: Росреестр подготовил отчет о земельном фонде Мурманской области. URL: [WWW.MURMANSK.KP.RU:https://www.murmansk.kp.ru/daily/27500/4759082/](http://WWW.MURMANSK.KP.RU:https://www.murmansk.kp.ru/daily/27500/4759082/), 2023.
36. Хомяков Д.М., Левин Б. Эколого-экономические вопросы производства и потребления минеральных удобрений в России // Экология и промышленность России. 2005. № 1. С. 30–34
37. Черных Н.А. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами. Пушино, 2001. 148с.
38. Чупина В.И. Природные и антропогенные почвы Полярно-альпийского ботанического сада. Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2020. № 2. С.3-9.
39. Шаркова С.Ю. Воздействие ТМ на почвенную микрофлору. // Плодородие. 2007. №4. С.40.
40. Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель / Под общ. ред. С.А. Шобы, А.С. Яковлева, Н.Г. Рыбальского. М.: НИИ-Природа, 2013. 310 с.
41. Boyes B. M., Linch L. D., Pearce D. M., Kolka V. V., Nash D. J. The Kola Peninsula and Russian Lapland: A review of Late Weichselian glaciation. Quaternary Science Reviews. 2021. V 267. 107087.
42. FAO and UNEP. 2021. Global assessment of soil pollution: Report. Rome. Электронный ресурс: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cb4894en/>

43. Gadd G.M. Transformation and mobilization of metals, metalloids, and radionuclides by microorganisms. In Biophysico-chemical processes of heavy metals and metalloids in soil environments. Wiley: Hoboken, NJ, USA, 2007; P. 53–96.
44. Izydorczyk G., Mikula, K., Skrzypczak D., Moustakas K., Witek-Krowiak A., Chojnacka K. Potential environmental pollution from copper metallurgy and methods of management. *Environ. Res.* 2021. V. 197: 111050.
45. Jacoby R., Peukert M., Succurro A., Koprivova A., Kopriva S. The role of soil microorganisms in plant mineral nutrition—current knowledge and future directions // *Front. Plant Sci.* 2017. V.8. P. 1617.
46. Korneykova M., Nikitin D., Myazin V. Qualitative and Quantitative Characteristics of Soil Microbiome of Barents Sea Coast, Kola Peninsula // *Microorganisms* 2021, V. 9. P. 2126
47. Martin, M. H., and P. J. Coughtrey, *Biological Monitoring of Heavy Metal Pollution: Land and Air: Applied Science Publishers*, 1982.
48. Somashekaraiah B.V. Phytotoxicity of cadmium ions on germinating seedlings of mung bean (*Phaseolus vulgaris*): Involvement of lipid peroxides in chlorophyll degradation // *Physiology Plantarum*. 1992. Vol. 85. № 1. P. 85-89.
49. Superson J., Huber M., Zgłobicki W. Conditions of development of structural relief in crystalline rocks (case study: Murmansk Upland and Kandalaksha region, Kola Peninsula, Russia) // *Landform Analysis*. 2013. Vol. 22. P. 103–109.
50. Tchounwou, P.B., Yedjou, C.G., Patlolla, A.K., Sutton, D.J. (2012). Heavy Metal Toxicity and the Environment. // *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*. 2012. Vol 101. P 133-164.