

Санкт-Петербургский государственный университет

БИБИКСАРОВА Июлия Евгеньевна

Выпускная квалификационная работа

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ
БИОИНДИКАЦИИ**

Основная образовательная программа магистратуры

“Экология и природопользование”

Профиль “Геоэкологический мониторинг”

Научный руководитель: к.г.н., КУКУШКИН

Степан Юрьевич

Рецензент: к. н. ПАПЯН Эльза Эльдаровна

Санкт-Петербург

2019

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ИСТОРИЯ ГОРОДА	5
1.1 Тектоническое строение и рельеф	6
1.2 Климат	9
1.3 Внутренние воды	10
1.4 Почвы	10
1.5 Растительность и животный мир	11
1.6 ГОК «Карельски Окамыш»	12
2. ПОВЕДЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ	13
2.1 Основные свойства тяжелых металлов	13
2.2 Факторы, определяющие подвижность тяжелых металлов в природных средах.	14
2.3 Миграция тяжелых металлов в почвенном профиле	18
2.4 Особенности миграции тяжелых металлов в растениях.	19
3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	21
3.1. Отбор проб	21
3.2. Подготовка проб к геохимическому анализу	23
3.3 Геохимическая обработка.	26
4. СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В КОМПОНЕНТАХ ЛАНДШАФТА ГОРОДА КОСТОМУКШИ	29
4.1 Содержание элементов в почве	30
4.2 Содержание элементов в растениях	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	51
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:	57
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	60
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	64
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	65

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы - рядом с городом Костомукшей расположено Костомукшское месторождение - крупнейшее по запасам железистых кварцитов на Северо-Западе России. ОАО «Карельский окатыш» - горнорудное предприятие, добывающее железную руду и перерабатывающее ее в железорудные окатыши. Производство в свою очередь оказывает воздействие на окружающую среду. Основными компонентами загрязняющих веществ комбината являются диоксид серы и полиметаллическая пыль, содержащая тяжелые металлы (ТМ), значительная часть поллютантов выпадает в радиусе 0,5-5 (10) км от него [14].

Попадая в почву, тяжелые металлы сравнительно легко вовлекаются в биологический круговорот, накапливаются в компонентах среды и оказывают негативное воздействие на растения и почвенную биоту, что приводит к нарушению биоценозов, а в отдельных случаях - даже к их деградации. Таким образом крайне важно оценить степень влияния ГОК на городскую среду посредством оценки накопления ТМ в почвах и растениях [2].

Цель работы - оценка текущего уровня загрязнения компонентов ландшафтов на территории г. Костомукша с помощью достоверных биогеохимических индикаторов антропогенных изменений.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

- Изучение особенностей поведения тяжелых металлов в естественных и антропогенно нарушенных северо-таежных ландшафтах
- Проведены натурные исследования на фоновых и нарушенных участках (на территории города, под факелом выбросов ГОК) с применением биоиндикационных методов исследований.
- Произведен отбор проб компонентов ландшафта (почвы и индикаторные виды растений)
- Проведена оценка потоков миграции ТМ в ландшафтах нарушенных и фоновых территорий

Биогеохимический подход к анализу живого вещества, основанный на идеях В.И. Вернадского, заключается в первую очередь с сопоставлением состава живых организмов с составом других природных компонентов – горных пород, почв, вод, атмосферного воздуха. Это создает возможности для системного анализа биологического круговорота химических элементов, биогеохимических циклов в ландшафтах и биосфере в целом. Метод основан на

определении химических элементов (тяжелых металлов) в золе органов и частей растений (коры, древесины, корней, плодов) и в почве (генетических горизонтах). Установлено, что на территориях, где имеются рудные залежи, в растениях накапливаются повышенные концентрации металлов по сравнению с фоновыми или кларковыми содержаниями, характерными для растений, заселяющих безрудные площади [2,7,16].

Биогеохимический метод может успешно применяться для оценки интенсивности техногенных потоков тяжелых металлов.

Биоиндикатор (indicator — указатель) — организм, вид или сообщество, по наличию, состоянию и поведению которого можно с большой достоверностью судить о свойствах среды, в том числе о присутствии и концентрации загрязнителей [13]. Биоиндикация – это оценка состояния окружающей среды по реакции живых организмов. Поэтому стоит рассмотреть миграцию тяжелых металлов от почв к растениям.

В данном исследовании биоиндикаторами выступают 2 компонента среды – это почва (генетические горизонты О и В) и растения (корка сосны *Pinus sylvestris*)

Почва - это единственный компонент ландшафта, который возникает в результате взаимодействия всех других его компонентов: горных пород, климата, природных вод, растительности, микроорганизмов и животных. Являясь основной депонирующей средой, почвы сами могут рассматриваться как интегральный индикатор загрязнения природно-территориального комплекса [13].

Сосна имеет наибольшее распространение в регионе исследования и является лесообразующей породой. Корка у деревьев представляет собой наружный слой тканей, состоящий из мертвых клеток, и предназначенный для защиты от неблагоприятных воздействий внешней среды. Зольность и элементный состав корки сосны является важным интегральным показателем в данном исследовании [27].

1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ИСТОРИЯ ГОРОДА

Костомукшский городской округ расположен в западной части Республики Карелия. Граничит на севере и востоке с Калевальским, на юге — с Муезерским районами Республики Карелия, на западе с Финляндией, с муниципалитетами Кухмо и Суомуссалми. Общая численность жителей на 2017 год составляет 29,5 тысяч человек.

На территории городского округа в 1982 г. начало функционировать одно из крупнейших промышленных предприятий Карелии - Костомукшский горно-обогатительный комбинат (ГОК), промплощадка которого расположена в 10 км к северо-востоку от города и связана с ним системой коммуникаций и диффузно расположенных построек. Костомукша является удобным модельным объектом, на котором можно проследить тенденции формирования урбанизированной флоры таежного города, начиная с самых первых этапов этого процесса (Кравченко, Гнатюк, 1997).

На территории, занятой в настоящее время городом и промобъектами, ранее располагались старинные карельские деревни Конгокки и Костомукша. В 1866 году в поселении находилось около 27 дворов и проживало более 160 человек. В 1917 году численность населения деревни выросла до 300 человек, которые принадлежали карельской и финской национальностям. Деревни были ликвидированы в 1950-е гг. Место расположения дер. Костомукша в настоящее время полностью затоплено и занято хвостохранилищем (отстойником). В 1967 году на месте современного города началось проектирование горно-обогатительного комбината. В 1970-х годах началось строительство поселка при новом железнорудном месторождении. В 1973 году было принято решение о строительстве совместно с Финляндией горно-обогатительного комбината. В ноябре 1977 года по указу правительства Карелии населенный пункт был преобразован в поселок городского типа. В 1982 году был введен в эксплуатацию Костомукшинский ГОК, который через два года вышел на полную мощность. В апреле 1983 года по решению правительства страны поселок получил статус города и название Костомукша. В конце 1980-х годов в состав Костомукши были включены деревни: Вокनावолок, Ладвозеро, Поньгагуба, Суднозеро, Толлорека.

При застройке планировочным проектом предусматривалось сохранение лесных куртин с целью максимального сохранения естественной природной среды в промежутках между кварталами жилой застройки. Сейчас в Костомукше существует большое количество лесных куртин разной площади. Куртины испытывают сильный антропогенный пресс, как рекреационный, так и аэротехногенный, тем не менее, большинство из них в значительной степени сохранило лесную среду.

Через Костомукшу проходят автомобильная и железная дороги, в том числе связывающие Россию и Финляндию. Вблизи ГОКа расположена недействующая городская свалка, к юго-востоку от Костомукши (по дороге на Ледмозеро) – действующая[28,20].

1.1 Тектоническое строение и рельеф

Исследуемый участок находится на западе центральной части Карелии рядом с государственной границей. Карелия в отличие от равнинной части Кольского полуострова имеет более пересеченный рельеф со средними высотами 150-200 м и относительными колебаниями до 100-120 м. Наибольшие высоты здесь приурочены к возвышенности Манселькя, вытянутой в субмеридиональном направлении вдоль государственной границы и достигающей в северо-западной части высоты 657 м. На юго-востоке к ней примыкает Западно-Карельская возвышенность с максимальной отметкой 417 м. К востоку от возвышенностей простираются обширные холмисто-грядовые низменные равнины, переходящие в Прибеломорскую низменность. К юго-востоку от нее, уже за пределами собственно Карелии, с северо-запада на юго-восток протянулся кряж Ветренный Пояс (344 м). По возрасту слагающих пород и по времени основных тектонических движений изучаемый регион может считаться древнейшим ядром Балтийского щита. Здесь проявились архейская (беломорская) и протерозойская (карельская) складчатости. В пределах территории выделяются три основных мегазоны, вытянутых с северо-запада на юго-восток: Кольский мегасинклинорий, Беломорский мегантиклинорий и Карельский мегасинклинорий. К Кольскому мегасинклинорию на северо-востоке примыкает Мурманский блок, а Карельский мегасинклинорий ограничен на юго-западе Свеко-Феннским блоком.

Формирование складчатых структур сопровождалось разломами и интенсивным вулканизмом. Преимущественно к синклинориям и их краевым зонам приурочены крупные интрузивные массивы и эффузивные поля основных, ультраосновных и щелочных пород, а отложения приобретают здесь осадочно-вулканогенный характер. Наряду с протерозойскими отложениями в этих мегазонах на поверхность выходят и породы нижнего структурного яруса (архейские), слагающие антиклинальные структуры. Археем сложены и окраинные блоки — Мурманский и Свеко-Феннский.

Более поздних дочетвертичных отложений на территории Кольского полуострова и Карелии нет. Это обусловлено тем, что на протяжении всего фанерозоя Балтийский щит испытывал преимущественно поднятия. Тенденция к поднятию сохраняется и в настоящее время.

Денудационные поверхности, разбитые разломами и приподнятые, в четвертичное время были преобразованы деятельностью ледника, зародившегося на этой территории. В послеледниковое время происходит изостатический подъем территории. При этом наибольшие поднятия испытывает юго-запад Кольского полуострова и северо-запад Карелии, где за короткий отрезок поздне- и послеледникового времени поднятия составили 150-170 м, в то время как северо-восток Кольского полуострова подъема, видимо, почти не испытывал.

В Карелии, как подчеркивает М.В. Карандеева (1957), прекрасно выражена связь рельефа с коренными породами. Эта связь настолько тесна, что "по геологической карте можно судить о формах рельефа, а по гипсометрической — о геологии района". В результате избирательной денудации создается совершенно различный рельеф на гранитах и гнейсах архея и на породах протерозоя — кварцитах, переслаивающихся с зеленокаменными породами. Это объясняется неодинаковой устойчивостью к разрушению пород, входящих в комплекс беломорид и карелид.

К архейским глыбам приурочены денудационные равнины. Они занимают большие площади и на Кольском полуострове, и в Карелии. Архейские граниты, гнейсы и подчиненные им породы по своей устойчивости к процессам денудации близки и в общем менее стойки, чем протерозойские комплексы. Это способствовало образованию мягких, сглаженных форм рельефа. В местах их распространения сформировались денудационные волнистые равнины с относительно небольшими колебаниями высот (10-20 м). В тех местах, где развиты складчатые структуры карелид с частым чередованием кварцитов и зеленокаменных пород, отличающихся резко различной устойчивостью к выветриванию, сформировался структурно-грядовый (сельговый) рельеф. Здесь наблюдается резкая его пересеченность. Узкие и длинные гряды высотой до 350-400 м сложены стойкими против разрушения кварцитами. Их разделяют узкие ложбины, сложенные легко разрушаемыми зеленокаменными породами. Простираение гряд и ложбин северо-западное, соответствующее простиранию складчатых структур. Относительные превышения местами достигают 200-250 м. Структурно-грядовый рельеф, приуроченный к карелидам, встречается в виде полос и островов среди денудационных равнин, сложенных толщами архея.

В четвертичное время Балтийский щит был одним из крупнейших центров оледенения Евразии. Кольский полуостров и Карелия являлись областью активной экзарации и сноса материала. Направление движения ледника совпало здесь с направлением простирания основных тектонических структур и разломных зон, что усиливало его активность, но в то же время ледник лишь шлифовал, расширял и углублял многочисленные доледниковые понижения, имеющие северо-западное простирание. Выпахивающему воздействию больше

всего подверглись граниты и гнейсы, а кварциты лишь испытали полировку. Деятельностью ледника обусловлена и сглаженность, округлость положительных форм рельефа, характерная не только для высоких массивов, но и для небольших скалистых поверхностей, которые приобрели вид бараньих лбов, курчавых скал.

Ледниковая аккумуляция играет здесь сравнительно малую роль. Чаще формы ледниковой аккумуляции встречаются в южной части Карелии. На Кольском полуострове они распространены в прибрежной полосе юго-восточной части, а во внутренних районах полуострова встречаются лишь в отрицательных формах рельефа.

С относительно недавним освобождением территории от ледникового покрова связана невыработанность гидрографической сети региона. Здесь сохранилось обилие озер, хотя и включенных в единую озерно-речную сеть, но еще не спущенных. Мало изменена и сама форма озерных котловин, оставшаяся в наследство от ледникового периода. Реки не успели выработать продольный профиль; они обычно извилисты и порожины, с перекатами, часто встречаются водопады: на Суне (Кивач, Гирвас), на Туломе, Ниве, Умбе и многих других. Все это свидетельствует о молодости рельефа региона[5].

Выбор исследуемого участка был определен нахождением на территории Костомукшского ГОКа. Который в свою очередь построили для добычи железной руды. Рассмотрим условия железорудного участка.

Костомукшский железорудный район находится в пределах Западно-Карельской структурно-фациальной зоны Карельского мегаблока, при сочленении ее с Восточно-Финляндским антиклинорным поднятием. В его геологическом строении принимают участие раннеархейские (саамский комплекс) и позднеархейские кристаллические образования (лопийский комплекс). Костомукшское месторождение находится в центральной части Костомукшского синклинория и приурочено к западному и южному крыльям асимметричной Костомукшской синформы IV порядка, дугообразно изогнутой относительно Костомукшской куполовидной структуры. По простиранию на север месторождение естественно переходит в Корпангское месторождение с условной границей по разлому СЗ направления.

Породы, слагающие месторождения, относятся к гимольской серии лопия и представлены, в основном, магнетитовыми кварцитами, переслаиваемыми с ритмичнослоистыми кварц-биотитовыми, биотит-кварцевыми и углеродсодержащими филлитовидными сланцами. Повсеместно развиты апогипербазитовые сланцы. Среди магматических пород распространены плагиориодациты (геллефлинты), гипербазиты, лампроиты, лампрофиры, граниты, габброиды. Руды и вмещающие породы в той или иной

степени изменены в результате метаморфических и гидротермально-метасоматических преобразований.

На Костомукшском месторождении выделены четыре разновидности руд: щелочноамфиболовые (рибекитовые, актинолитовые, кросситовые с эгирином, биотитом, карбонатом); биотитовые (грюнерит-биотитовые, карбонат-биотитовые, рибекит-биотитовые); грюнеритовые (биотит-грюнеритовые, карбонат-биотит-грюнеритовые); двуамфиболовые (роговообманково-грюнеритовые с биотитом и карбонатом). Руды Корпангского месторождения имеют амфибол-магнетитовый состав с разновидностями: кроссит-магнетитовой, арфведсонит (рибекит)-магнетитовой, эгирин-магнетитовой и роговообманково-магнетитовой, и биотит-магнетитовой. Содержание $(\text{Fe}_3\text{O}_4+\text{SiO}_2)$ в магнетитовых кварцитах составляет 87-92%. Оксиды Al_2O_3 , MgO , CaO , $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ содержатся в количестве $n \cdot (0,1-1)$ %. Незначительную примесь составляют P_2O_5 ($n \cdot 0,1\%$) и SrO ($n \cdot 0,01\%$). Содержание S возрастает от богатых (0,03%) к бедным (0,9%) рудам и достигает 7% в силикатных кварцитах. Из всех элементов-примесей в рудах только содержания Mn ($n \cdot 0,01\%$) и Ge ($n \cdot 0,0001\%$) достигают кларковых значений. Руды содержат низкие концентрации экологически опасных элементов (в %): Zn, Ti – $n \cdot 0,01$; Cr, V, Pb, Ni, Y – $n \cdot 0,001$; Ga, Sc – $n \cdot (0,001-0,0001)$; Co, Cu, Ge – $n \cdot 0,0001$; Ag – $n \cdot (0,00001-0,000001)$. Содержание Au в рудах – $n \cdot (1-0,001)$ г/т. [3,18,19].

1.2 Климат

Заповедник Костомукшский и г. Костомукша находятся на территории Карелии, в атлантико-арктической климатической области умеренного пояса. Располагаясь между 61-67° с.ш., Карелия в целом мало получает солнечной энергии, недостаток которой частично возмещается теплом, приносимым воздушными массами с запада. Циклоны с запада приходят во второй половине лета и осенью и приносят с собой потепление, плотную облачность и осадки, в результате чего осень бывает сравнительно теплой, а зима наступает поздно. Зимой с юга часто вторгаются воздушные массы, приносящие резкое потепление, оттепели. Все это способствует смягчению климата. Зима относительно мягкая, лето короткое и прохладное. Среднегодовая температура воздуха в заповеднике 0,5°. Средняя температура самого теплого месяца – июля 15°, января и февраля – 12°, хотя иногда бывают морозы до - 50°. Количество пасмурных дней летом составляет 60-70%, зимой-80%. Относительная влажность воздуха во все сезоны очень высокая – ночью 90-100%, днем 60-80% и только в отдельные засушливые периоды падает ниже. Среднее количество осадков составляет 535 мм. На территории Карелии в целом выделяют четыре климатических района. Изменение климата с продвижением с севера на юг характеризуется нарастанием положительных температур при

одновременном увеличении осадков. В течение года практически по всей территории преобладают ветры юго-западных и западных направлений. На территории заповедника осенью и зимой преобладают западные и юго-западные ветры, весной и летом — юго-западные и северо-восточные. Максимальная скорость ветра — до 25 м/с[6].

1.3 Внутренние воды

Гидрологическая сеть включает многочисленные озера, реки, ручьи и болота. Наиболее крупное на территории заповедника озеро-Каменное площадью 95,5 км². Оно относится к Бассейну Белого моря и находится вблизи Беломорско-Балтийского водораздела. озеро очень живописно, на нем 98 островов общей площадью около 1000 га, Береговая линия сильно изрезана, ее протяженность-193 км. Вода озера мало минерализована, с нейтральной реакцией, прозрачностью в среднем 3,8 м (3,5-5,0 м). Водообмен в озере замедленный. Средняя глубина озера-8 м, в северной части она достигает местами 20-26 м, в южной-15 м. Вода 03. Каменного используется для водоснабжения г. Костомукши

Что касается города Костомукши, то в его городском округе находится несколько крупных озер, оз. Контолки, оз. Подкова, оз. Костомукшское и др.

Оз. Костомукшское. Площадь - 5,4 км². Площадь бассейна - 151 км². Превращено в отстойник-хвостохранилище. Сюда сливают воду, используемую на ГОКе для обогащения железной руды[4].

1.4 Почвы

Почвенный покров характеризуется сложной мозаичной структурой, что связано с сильной расчлененностью рельефа, слабой дренированностью части территории, разнообразием почвообразующих пород. Основные типы почв: подзолистые, Болотно-подзолистые и Болотные. Подзолистые почвы представлены: иллювиально-гумусово-железистыми подзолами, которые приурочены к моренным песчаным и супесчаным отложениям. Здесь преобладают хвойные леса зеленомошной группы. Неглубокие понижения с затрудненным стоком и края Болот заняты Болотно- подзолистыми почвами. Для этих почв характерны мощная лесная подстилка или торфянистый горизонт мощностью 10-20 см, подзолистый горизонт (10-20 см), ниже которого залегают иллювиально-гумусовый или глеевый горизонт. В условиях неблагоприятного водно-воздушного режима и недостатка минерального питания на этих почвах растут елово-сосновые типы леса. Гидроморфные почвы представлены торфяно-глеевыми и торфяными почвами (верхового, переходного и низинного типов Болот).

Таблица 1 Распространение почв в заповеднике «Костомукшский» [3].

Почвы	Почвообразующие породы	Площадь, %
Подзолы иллювиальножелезистые и иллювиально-гумусовые (без разделения)	Песчаные валунные и галечниковые	49,7
Подзолы глеевые торфянистые и торфяные в основном иллювиальногумусовые	Песчаные валунные и галечниковые	50,2

Объектом исследований являются широко распространенные на территории Карелии подзолистые, подзолисто-глеевые и торфяно-болотные почвы. Подзолистые почвы представлены: иллювиально-гумусово-железистыми, иллювиально-железистыми, болотно-подзолистыми разновидностями, в черте города и на территории ГОКа распространены антропогенные урбаноземы, которые так же будут изучены.

1.5 Растительность и животный мир

Всего во флоре города выявлено 432 вида, в том числе 230 (53%) аборигенных, из которых 32 (14%) относятся к апофитам, и 202 (47%) адвентивных. Всего гемерофильных видов (с учетом апофитов) - 234 (54,3%). Среди адвентивных видов по способу распространения абсолютно преобладают ксенофиты - 153 вида, эргазиофитов - 20. По результатам внедрения во флору виды распределились следующим образом: эпекофиты - 87 видов, колонофиты - 62. эфемерофиты - 46. агриофиты - 7. По времени внедрения во флору преобладают кенофиты - 111 видов (55%), неофитов - 91 (45%). Преобладающие типы ареалов аборигенных видов - бореальный циркумполярный (29.6% от общего числа видов) и бореальный евроазиатский (23,5%). Проведено сравнение основных параметров флоры города и флоры расположенного вблизи заповедника «Костомукшский». Сравнение таксономических структур аборигенных фракций выявило почти полное совпадение состава 10 ведущих семейств, при этом порядок следования совпадает только для первых четырех семейств. Сравнение флор с использованием коэффициента Жаккара выявило, что самое высокое значение коэффициента ($K_j = 0.64$) получается при сравнении аборигенных фракций, при

сравнении полных флористических списков $K_j = 0.56$, минимальное сходство отмечено при сравнении адвентивных фракций ($K_j = 0,35$). Приводится аннотированный список сосудистых растений города. УДК 581.9(470.22) [18].

В черте города сохранилось большое количество естественных или близких к естественным местообитаниям, на которых сохраняются виды, характерные для данной растительной зоны. В лесных куртинах встречаются многие лесные аборигенные виды. Переувлажненные местообитания - болота разных типов, придорожные и дренажные каналы, являются местами сохранения в городе многих болотных и прибрежно-водных видов.

Выявлены 25 видов сосудистых растений, включенных в Красную книгу Карелии (2007) (*Asplenium septentrionale* (L.) Hoffm. (Костенец), *Moehringia lateriflora* (L.) Fenzl, *Potamogeton pectinatus* L. и др.) рдесты), из них четыре вида (*Calypso bulbosa* (L.) Oakes, *Isoëtes echinospora* Durieu, *I. lacustris* L., *Lobelia dortmanna* L.)

1.6 ГОК «Карельски Окамыш»

АО «Карельский окамыш» входит в горнодобывающий (сырьевой) дивизион горно-металлургической компании «Северсталь» с 1999 г. Предприятие занимает одно из первых мест в России по объему производства железорудных окатышей – производит третью часть всех российских окатышей.

До 1993 года назывался Костомукшским горно-обогатительным комбинатом. Горные работы ведутся с 1982 года на базе Костомукшского железорудного месторождения (по состоянию на 1 января 2016 года запасы железной руды составляют 1,041 млрд. тонн), которое включает железистые кварциты, кристаллические сланцы различного состава и геллефлинты. В июле 2001 года компания получила лицензию на право пользования недрами с целью добычи железных руд Корпангского месторождения (расположено в 4-5 км к северу от Костомукшского месторождения). В марте 2007 года начата добыча и переработка железной руды Корпангского месторождения (запасы оценивали в 320 млн. тонн.). В 2008 году компания получила лицензию на разведку и обработку запасов руд Южно-Корпангского участка недр.

Предприятие производит железорудные окатыши с содержанием железа 65-66%, являющиеся продукцией с высокой добавленной стоимостью, так как они могут использоваться непосредственно в доменной печи без промежуточной агломерации. Основным потребителем продукции компании является металлургический комбинат «Северсталь», расположенный в городе Череповце (Вологодская область). Также предприятие

поставляет свою продукцию на экспорт: Турция, Нидерланды, Финляндия, Великобритания, Китай и др.

«Карельский окатыш» имеет международные сертификаты по промышленной безопасности и по экологии.

При работе дробильнообогащительного комплекса образуется неорганическая пыль. Для сокращения вредных выбросов в атмосферу от организованных источников дробильно-обогащительной фабрики, фабрики окомковывания и участка дробления и измельчения нерудных строительных материалов применяется очистка удаляемого воздуха от загрязняющих веществ. Однако, очистными сооружениями в настоящее время улавливается около 45 % от общего количества пыли, соответственно 55 % попадают в производственные помещения и окружающую среду.

В комплексе по производству окатышей в атмосферу попадает неорганическая пыль, окись углерода, двуокись азота, сернистый ангидрид и др., комплекс котельных - выбрасывает в атмосферу сажу, двуокись азота, окись углерода, сернистый ангидрид, пяти-окись ванадия и др [31].

2. ПОВЕДЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

2.1 Основные свойства тяжелых металлов

Тяжелые металлы представляют широкую группу загрязняющих веществ. Число элементов, относящихся к ним изменяется в связи с различной трактовкой термина «тяжелые металлы». Такие характеристики, как: атомная масса, плотность, токсичность, распространенность в природной среде, степень вовлеченности в природные и техногенные циклы используются, а качестве критериев принадлежности к этой группе. Согласно классификации, Н. Реймерса [22], к тяжелым относятся металлы, плотность которых превышает 8 г/см^3 . В настоящее время тяжелые металлы объединяют более 40 элементов с атомной массой более 40 а. е. м. Важны также и такие критерии, как: высокая токсичность для живых организмов и способность к биоаккумуляции и биомагнификации.

В соответствии с ГОСТом тяжелые металлы по степени опасности подразделяются на три класса: высоко опасные (I), умеренно опасные (II), мало опасные (III) (табл. 2).

Таблица 2 Классификация тяжелых металлов по степени опасности [9]

Класс опасности	Элементы
I	As, Cd, Hg, Be, Se, Pb, Zn
II	Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Sb
III	Ba, W, V, Mn, Sr

Эколого-геохимическая оценка устойчивости почв может быть проведена не только по отношению к отдельным элементам, но и к группам элементов со сходными химическими свойствами.

2.2 Факторы, определяющие подвижность тяжелых металлов в природных средах.

Тяжелые металлы характеризуются сходными свойствами и поведением в природных системах. Каждый природный фактор несет определенную информацию о возможностях миграции/аккумуляции вещества.

Анализ возможной информативности каждого природного фактора для определения его влияния на функционирование почв позволил выявить основные направления такого влияния (Глазовская, 1978, 1979):

- определяющее возможную интенсивность физического выноса и рассеяния тяжелых металлов в почвенно-грунтовых системах - это сумма атмосферных осадков и их интенсивность, уровни поверхностного и подземного стока и др.;
- определяющее исходную емкость, возможную интенсивность и прочность закрепления тяжелых металлов в почвенно-грунтовых системах – разнообразные геохимические условия и геохимические барьеры (табл. 3).

Таблица 3 Природные факторы, контролирующие чувствительность почвенно-грунтовых систем при их загрязнении тяжелыми металлами (составлено по материалам М.А.Глазовской, 1978, 1979)

<i>Факторы, определяющие возможную интенсивность физического выноса и рассеяния тяжелых металлов в почвенно-грунтовых системах</i>	
Показатели скорости миграции и выноса тяжелых металлов из почв	Осадки (по сезонам года) Сток (по сезонам года) Соотношение осадков и испаряемости Гипсометрическое положение территории

	Гранулометрический состав
<i>Факторы, определяющие исходную емкость, возможную интенсивность и прочность закрепления тяжелых металлов в почвенно-грунтовых системах</i>	
Показатели интенсивности и прочности закрепления тяжелых металлов в почвенно-грунтовых системах	Щелочно-кислотные условия Окислительно-восстановительные условия Содержание гумуса Гранулометрический состав Геохимические барьеры

Щелочно-кислотные условия. Реакция почвенного раствора – один из важнейших факторов, определяющих поведение микроэлементов в почве. Тяжелые металлы более подвижны в кислых условиях среды. В нейтральных и щелочных условиях многие металлы входят в состав труднорастворимых соединений, таких как гидроксиды, сульфиды, фосфаты, карбонаты и оксалаты, и становятся менее подвижными, следовательно, могут накапливаться в почвах.

Окислительно-восстановительные условия. Окислительно-восстановительный потенциал почв влияет на миграционную способность металлов, так как регулируют окклюзию тяжелых металлов оксидами железа и марганца. В окислительных условиях, где железо и марганец неподвижны, происходит накопление тяжелых металлов. В восстановительных условиях же повышается растворимость и активность металлов – с одной стороны, а с другой – отсутствие оттока влаги способствует накоплению металлов. Таким образом, появление признаков оглеения при увлажнении и разложении органического вещества может уменьшать миграционную способность металлов. К таким металлам относятся Cu, Ni, Co, Zn (Большаков В.А. и др., 1988; Покровская С.Ф.; Касатиков В.А., 1987; Алексеев Ю.В., 1987). В восстановительной сероводородной среде подвижность металлов резко уменьшается, потому, что они связываются в сульфиды. Изменение окислительно-восстановительных условий особенно сказывается на металлах с переменной валентностью.

Содержание гумуса и мощность гумусового горизонта. Органическое вещество почвы играет большую роль в связывании микроэлементов в различные формы. Согласно исследованиям, Н. А. Канунниковой (1971), поглощение металлов гумусовым веществом почвы идет путем адсорбции, ионного обмена и комплексообразования. В результате поглощения образуются гуматы металлов. Так, большая мощность гумусового горизонта и

большее процентное содержание гумуса способствует большому удержанию металлов в почве.

Гранулометрический состав. С увеличением доли тяжелых (более мелких) фракций почв наблюдается увеличение сорбционной способности почв, что связано с большой удельной поверхностью глинистых и илистых частиц. То есть подвижность тяжелых металлов в ряду: песок-супесь-суглинок уменьшается.

Геохимические барьеры. Под геохимическим барьером понимается «участок, где на коротком расстоянии резко меняются условия миграции, что приводит к концентрации химических элементов или их соединений» (Перельман, 1961; Перельман, Касимов, 1999). Так, в основном, верхние, органические горизонты почв являются биогеохимическим барьером для тяжелых металлов, так как происходит их накопление в гумусовом горизонте. Утяжеление гранулометрического состава почв и формирование в почвенном профиле текстурных горизонтов приводит к формированию сорбционного (сорбционно-седиментационного) барьера. В глеевых и оглеенных горизонтах (в восстановительных условиях) формируется глеевый барьер, где происходит снижение миграционной способности металлов, и, как следствие, их накопление. В почвах с высокими значениями рН образуются щелочные барьеры. Так, в солонцовых горизонтах формируются сорбционно-седиментационный и щелочной барьеры.

Почва является основной средой, в которую попадают ТМ, в том числе из атмосферы и водной среды. Она же служит источником вторичного загрязнения приземного воздуха и вод, попадающих из нее в Мировой океан. Из почвы ТМ усваиваются растениями, которые затем попадают в пищу.

Термин «тяжелые металлы», характеризующий широкую группу загрязняющих веществ, получил в последнее время значительное распространение. В различных научных и прикладных работах авторы по-разному трактуют значение этого понятия. В связи с этим количество элементов, относимых к группе тяжелых металлов, изменяется в широких пределах. В качестве критериев принадлежности используются многочисленные характеристики: атомная масса, плотность, токсичность, распространенность в природной среде, степень вовлеченности в природные и техногенные циклы. В работах, посвященных проблемам загрязнения окружающей природной среды и экологического мониторинга, на сегодняшний день к тяжелым металлам относят более 40 элементов периодической системы Д.И. Менделеева с атомной массой свыше 40 атомных единиц: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi и др. По классификации Н. Реймерса (1990), тяжелыми следует считать металлы с плотностью более 8 г/см³. При этом немаловажную роль в категорировании тяжелых металлов играют следующие условия: их высокая токсичность для живых

организмов в относительно низких концентрациях, а также способность к биоаккумуляции и биомагнификации. Практически все металлы, попадающие под это определение (за исключением свинца, ртути, кадмия и висмута, биологическая роль которых на настоящий момент не ясна), активно участвуют в биологических процессах, входят в состав многих ферментов. Самыми мощными поставщиками отходов, обогащенных металлами, являются предприятия по выплавке цветных металлов (алюминиевые, глиноземные, медно-цинковые, свинцово-плавильные, никелевые, титаномагниевые, ртутные и др.), а также по переработке цветных металлов (радиотехнические, электротехнические, приборостроительные, гальванические и пр.). В пыли металлургических производств, заводов по переработке руд концентрация Pb, Zn, Bi, Sn может быть повышена по сравнению с литосферой на несколько порядков (до 10–12), концентрация Cd, V, Sb – в десятки тысяч раз, Cd, Mo, Pb, Sn, Zn, Bi, Ag – в сотни раз. Отходы предприятий цветной металлургии, заводов лакокрасочной промышленности и железобетонных конструкций обогащены ртутью. В пыли машиностроительных заводов повышена концентрация W, Cd, Pb (табл. 4).

Таблица 4

Зоны загрязнения почв вокруг точечных источников загрязнения

№ п/п	Зона	Расстояние от источника загрязнения в км	Превышение содержания ТМ по отношению к фоновому
1	Охранная зона предприятия	0,5–0,75	100
2	Зона I	0,75–1,5	200–50
3	Зона II	2–8	50–10
4	Зона III	4–15	5–2
5	Зона IV	8–20	5–2
6	Фон	20–50	1

Под влиянием обогащенных металлами выбросов формируются ареалы загрязнения ландшафта преимущественно на региональном и локальном уровнях. Влияние предприятий энергетики на загрязнение окружающей среды обусловлено не концентрацией металлов в отходах, а их огромным количеством. Масса отходов, например, в промышленных центрах, превышает их суммарное количество, поступающее от всех других источников загрязнения. С выхлопными газами автомобилей в окружающую среду выбрасывается значительное количество Pb, которое превышает его поступление с отходами металлургических предприятий. Пахотные почвы загрязняются такими элементами как Hg, As, Pb, Cu, Sn, Bi, которые попадают в почву в составе ядохимикатов, биоцидов, стимуляторов роста растений, структурообразователей. Нетрадиционные удобрения, изготавливаемые из различных отходов, часто содержат большой набор загрязняющих веществ с высокими концентрациями. Из

традиционных минеральных удобрений фосфорные удобрения содержат примеси Mn, Zn, Ni, Cr, Pb, Cu, Cd (Гапонюк, 1985).

Распределение в ландшафте металлов, поступивших в атмосферу из техногенных источников, определяется расстоянием от источника загрязнения, климатическими условиями (сила и направление ветров), рельефом местности, технологическими факторами (состояние отходов, способ поступления отходов в окружающую среду, высота труб предприятий).

Рассеивание ТМ зависит от высоты источника выбросов в атмосферу. Согласно расчетам М.Е. Берлянда (1975), при высоких дымовых трубах значительная концентрация выбросов создается в приземном слое атмосферы на расстоянии 10–40 высот трубы. Вокруг таких источников загрязнения выделяются 6 зон (табл. 5). Площадь воздействия отдельных промышленных предприятий на прилегающую территорию может достигать 1000 км².

Таблица 5

Зоны загрязнения почв вокруг точечных источников загрязнения

№ п/п	Зона	Расстояние от источника загрязнения в км	Превышение содержания ТМ по отношению к фоновому
1	Охранная зона предприятия	0,5–0,75	100
2	Зона I	0,75–1,5	200–50
3	Зона II	2–8	50–10
4	Зона III	4–15	5–2
5	Зона IV	8–20	5–2
6	Фон	20–50	1

Зоны загрязнения почв и их размер тесно связаны с векторами господствующих ветров. Рельеф, растительность, городские постройки могут изменять направление и скорость движения приземного слоя воздуха. Аналогично зонам загрязнения почв можно выделить и зоны загрязнения растительного покрова.

2.3 Миграция тяжелых металлов в почвенном профиле

Аккумуляция основной части загрязняющих веществ наблюдается преимущественно в гумусово-аккумулятивном почвенном горизонте, где они связываются алюмосиликатами, несиликатными минералами, органическими веществами за счет различных реакций взаимодействия. Состав и количество удерживаемых в почве элементов зависят от содержания и состава гумуса, кислотно-основных и окислительно-восстановительных условий, сорбционной способности, интенсивности биологического поглощения. Часть тяжелых металлов удерживается этими компонентами прочно и не только не участвует в миграции по почвенному профилю, но и не представляет опасности для живых организмов [2]. Отрицательные экологические последствия загрязнения почв связаны с подвижными

соединениями металлов. В пределах почвенного профиля техногенный поток веществ встречает ряд почвенно-геохимических барьеров. К ним относятся карбонатные, гипсовые, иллювиальные горизонты (иллювиально-железисто-гумусовые).

Часть высокотоксичных элементов может переходить в труднодоступные для растений соединения, другие элементы, мобильные в данной почвенно-геохимической обстановке, могут мигрировать в почвенной толще, представляя потенциальную опасность для биоты. Подвижность элементов значительной степени зависит от кислотно-основных и окислительно-восстановительных условий в почвах. В нейтральных почвах подвижны соединения Zn, V, As, Se, которые могут выщелачиваться при сезонном промачивании почв.

Накопление подвижных, особо опасных для организмов соединений элементов зависит от водного и воздушного режимов почв: наименьшая аккумуляция их наблюдается в водопроницаемых почвах промывного режима, увеличивается она в почвах с непромывным режимом и максимальна в почвах с выпотным режимом. При испарительной концентрации и щелочной реакции в почве могут накапливаться Se, As, V в легкодоступной форме, а в условиях восстановительной среды – Hg в виде метилированных соединений.

Однако следует иметь в виду, что в условиях промывного режима потенциальная подвижность металлов реализуется, и они могут быть вынесены за пределы почвенного профиля, являясь источниками вторичного загрязнения подземных вод. В кислых почвах с преобладанием окислительных условий (почвы подзолистого ряда, хорошо дренированные) такие тяжелые металлы, как Cd и Hg, образуют легкоподвижные формы. Напротив, Pb, As, Se образуют малоподвижные соединения, способные накапливаться в гумусовых и иллювиальных горизонтах и негативно влиять на состояние почвенной биоты[6].

Если в составе загрязняющих веществ присутствует S, в восстановительных условиях создается вторичная сероводородная среда и многие металлы образуют нерастворимые или слабо растворимые сульфиды. В заболоченных почвах Mo, V, As, Se присутствуют в малоподвижных формах. Значительная часть элементов в кислых заболоченных почвах присутствует в относительно подвижных и опасных для живого вещества формах; таковы соединения Pb, Cr, Ni, Co, Cu, Zn, Cd и Hg. В слабокислых и нейтральных почвах с хорошей аэрацией образуются труднорастворимые соединения Pb, особенно при известковании. В нейтральных почвах подвижны соединения Zn, V, As, Se, а Cd и Hg могут задерживаться в гумусовом и иллювиальных горизонтах. По мере возрастания щелочности опасность загрязнения почв перечисленными элементами увеличивается.

2.4 Особенности миграции тяжелых металлов в растениях.

Процесс естественного возобновления и роста древостоя является главным фактором нормального функционирования лесных массивов, а его нарушение влечет за собой преобразование всего биоценоза, типологическую смену сообществ. Сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L является удобным объектом для экотоксикологических исследований из-за широкой экологической амплитуды своего распространения, а также из-за наличия четко идентифицируемых биологических реакций на химическое воздействие на всех этапах своего онтогенетического развития

Процессы сорбции, перераспределения и аккумуляции загрязняющих веществ семенными растениями достаточно сложны и зависят от множества факторов. Известно несколько путей поступления химических элементов и их соединений в растение, основными из которых являются корневое питание, газообмен, обменная адсорбция поверхностью листовой пластинки. Развитие таких эволюционно обусловленных систем, как проводящие ткани, защитный кутикулярный слой, приспособления физиологоморфологического и консортивного плана, обуславливают сложную и опосредованную зависимость химического состава тканей сосудистых растений от химического качества окружающей среды. Жизненная форма древесного растения определяет наличие высокого разнообразия тканей и органов, обладающих различными функциями и имеющих различный химический состав [26,27,32].

3. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Отбор проб

На каждом участке проотбора проводилось описание фации по бланку описания в кратком варианте. Данные записывались в личный полевой дневник (рис 1). Каждая пробная площадка имела координаты, установленные при помощи GPS.

Пример описания площадки (рис 1)

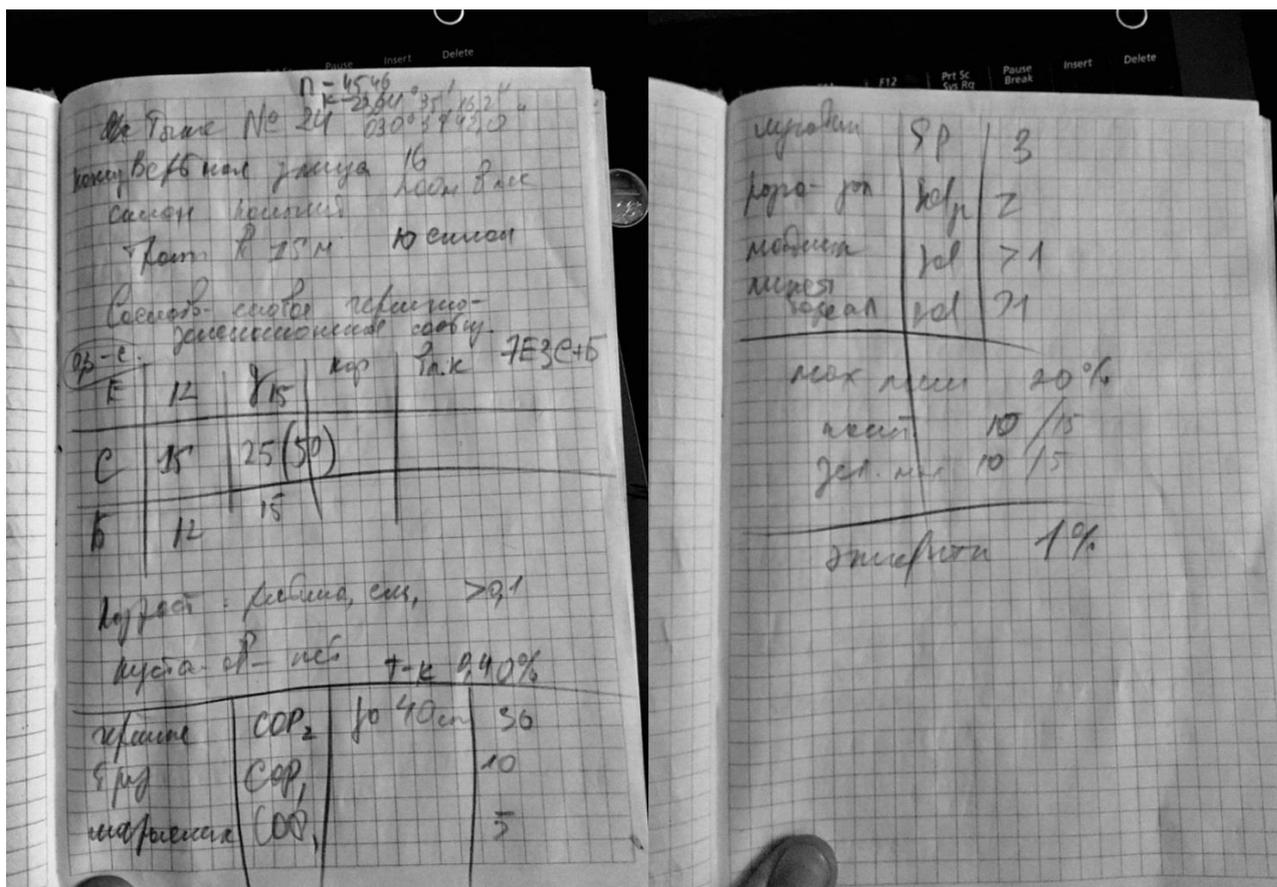


Рисунок 1- Описание площадки № 24

На каждой экологической площадке производился отбор двух компонентов ландшафта. Пробы почвы из двух генетических горизонтов О и В (рис 2), и отбор пробы корки сосны. Также были заложены три почвенных разреза (ЭП № № 34-1,2,3), из которых отбирались пробы из О, Е, ВF и ВС при наличии.

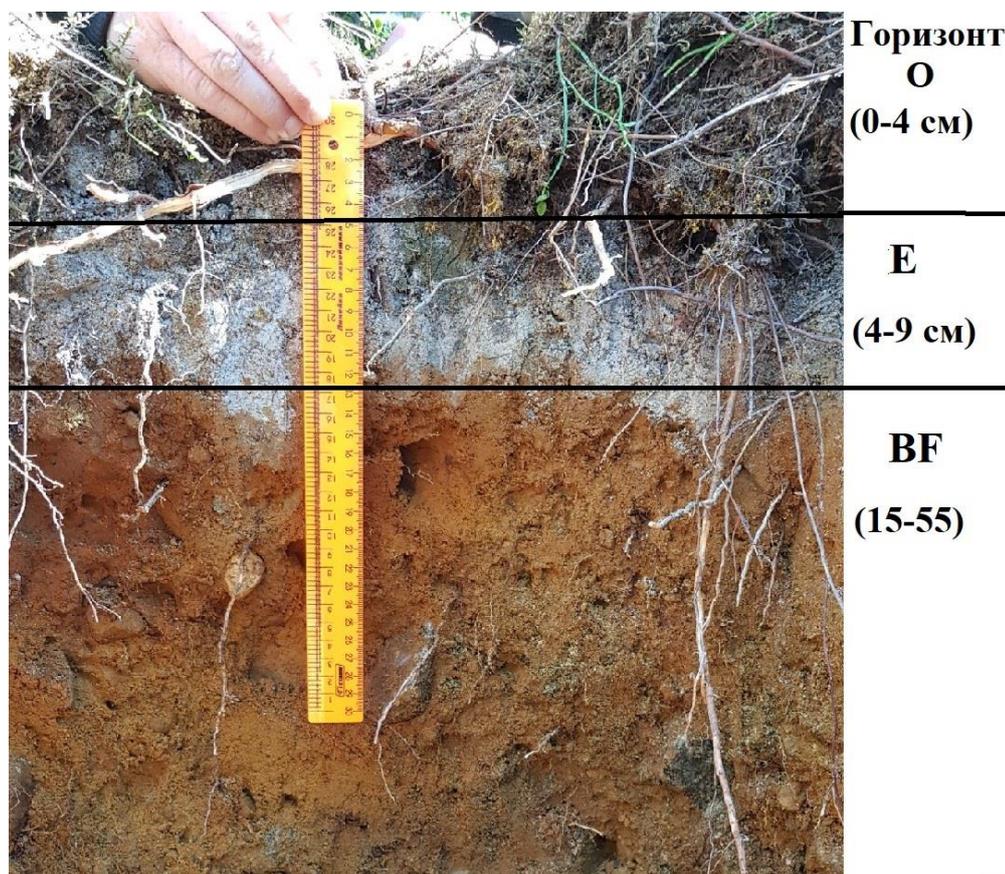


Рисунок 2 – Почвенный разрез на площадке № 34.

Пробоотбор почв осуществлялся с учетом вертикальной структуры неоднородности почвенного и растительного покрова, рельефа местности. Методика отбора проб должна была обеспечить комплексность подхода, для этого закладывались площадки размером 20x25 (в соответствии с ГОСТом 17.4.3.01-83 [10]).

Пробоотбор производился на разных типах рельефа, для определения характера латеральной миграции и перераспределения химических элементов. Отбор точечных проб осуществлялся методом конверта, чтобы каждая проба представляла собой часть почвы, типичной для генетических горизонтов или слоев данного типа почвы. Количество точечных проб определяют в соответствии с ГОСТом 17.4.3.01-83[10].

Отобранные пробы были смешаны в объединенную пробу путем смешивания точечных проб, отобранных на одной площадке. Для химического анализа объединенная проба должна включать не менее пяти точечных проб. Почвенные образцы были упакованы в матерчатые мешочки, и к каждому мешочку прилагалась своя этикетка, в которой указано место взятия образца, номер образца и дата отбора, особенности обнаружения.

Отбор образцов корки сосны *Pinus sylvestris* осуществлялся на каждой точке, в лучшем случае с 5 деревьев одного возраста на высоте грудной клетки (рис 3). Предварительно с поверхности коры счищался лишайник, для чистоты геохимических показаний.



Рисунок 3 – Дерево для отбора проб на площадке №24.

Подготовка проб к физико-химическому анализу проведена успешно, пробы были высушены до воздушно-сухого состояния по ГОСТу 5180-75. Пробы хранились в матерчатых мешочках. А также было исключено их повторное загрязнение при транспортировке.

3.2. Подготовка проб к геохимическому анализу

Подготовка почвенных проб заключалась в их истирании до состояния пудры. Истирание производилось разными способами:

- Ручным, с помощью агатовой ступки и

- Автоматизированным, в ААНИИ на планетарной мельнице.

Подготовка проб растительности, заключалась в озолении корки сосны. Материал пробы измельчается на небольшие кусочки, помещается в подготовленные, взвешенные тигли в двойной повторности. Загружается в муфельную печь на несколько часов при температуре 450-500 градусов идет озоление корки. Затем, если озоление прошло не полностью, пробы ставятся еще на 2-3 часа. В итоговом варианте получается зола, светлого цвета без включений и угольков.

Часть проб (60 проб корки и почв) в виде подготовленного материала отправились на определение валового содержания ТМ во ВСЕГЕИ. 42 почвенные пробы находятся в обработке на определение подвижных форм, извлекаемых аммонийно-ацетатным буфером.

В настоящее время разработана система предельно-допустимых концентраций (ПДК) подвижных форм ТМ в почве, извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером (рН 4,8) (ГОСТ 26204-84, 26213-84[12]).

Ход определения:

Навеску почвы весом 3-5 г помещают в колбу вместимостью 100 мл, приливают 50 мл буферного раствора с рН 4,8.

Суспензию взбалтывают 1 час и отстаивают в течение суток.

Пробу фильтруют через фильтр «синяя лента». Первые порции фильтрата отбрасывают, а последующие используют для анализа. Пробы подготавливают и проводят анализ в двукратной повторности. Пробоподготовка будет проходить в лаборатории геоэкологического мониторинга, а сами анализы на содержание тяжелых металлов проводятся в Ресурсном центре, г. Петергоф, на атомно-эмиссионном спектрометре.

Для лучшего ориентирования в большом количестве проб был создан электронный реестр [ПРИЛОЖЕНИЕ 1]. Реестр содержит информацию о дате, координатах, привязка и название сообщества в котором отбиралась проба. На основе этой информации была построена карта-схема пробоотбора в городе (рис 2). Так же можно сделать несколько выводов по типам растительности:

- Преобладают сосново-еловые и елово-сосновые сообщества, что говорит о сохранении естественных ландшафтов в городской среде.

- На площадке которые испытывают сильное антропогенное воздействие идет процесс вторичной сукцессии и в первый растительный ярус выходят лиственные породы деревьев (березы и осины).
- В травяно-кустарничковом ярусе преобладают: черничники, черничники-брусничники и разнотравье.
- Мохово-лишайниковый ярус в основном представлен зелеными мхами, что обусловлено переувлажнением в условиях северной тайги

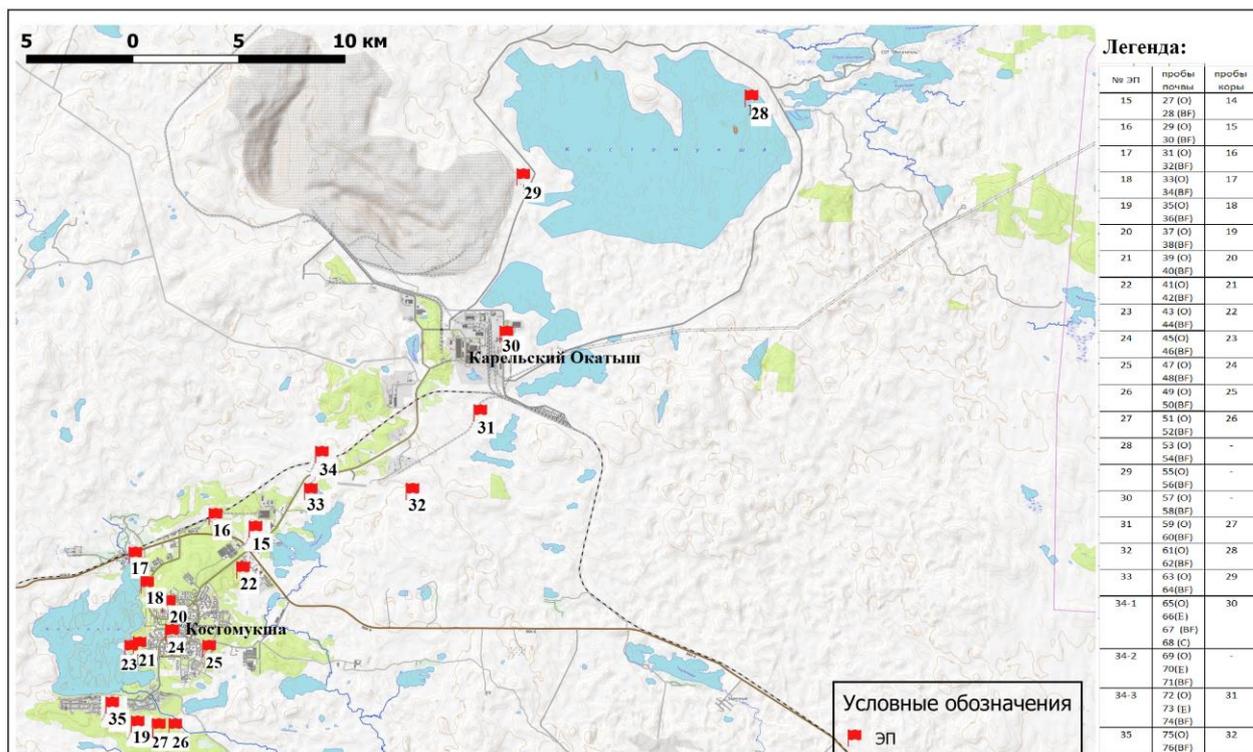


Рисунок 4- Картограмма пробоотбора.

Задачи практики успешно выполнены. Следующий этап статистической обработки информации производится на основе полученных данных.

В период практики в городе Костомукше:

- Проведены натурные исследования на фоновых и нарушенных территориях:
- Произведено описание 22 точек
- Отобрано 17 проб корки сосны (*Pinus sylvestris.*),
- 44 почвенные пробы (гор. А и В)

В лаборатории Института наук о земле:

- 60 проб почвы и корки сосны были подготовлены и отправлены на определение валового содержания тяжелых металлов методом атомно – абсорбционной спектроскопии
- 42 почвенные пробы находятся на стадии подготовки для определения фонового содержания тяжелых металлов и определения миграции элементов по почвенному профилю.

3.3 Геохимическая обработка.

Валовое содержание ТМ в пробах почвы и корке сосны было определено методом атомно-абсорбционной спектрометрии в лаборатории ВГЕГЕИ. В данный центр были отправлены подготовленные пробы в виде золы корка сосны и пробы почвы, истертые до состояния пудры. Дальнейшая пробоподготовка производилась сотрудниками ВСЕГЕИ.

Атомная абсорбция (АА) – это процесс, происходящий, когда атом, находящийся в невозбужденном (основном) состоянии поглощает энергию в виде света с определенной длиной волны и переходит в возбужденное состояние. Количество световой энергии, поглощенной при данной длине волны, пропорционально увеличивается с увеличением количества атомов данного элемента в световом пути. Отношение между количеством поглощенного света и концентрацией атомов анализируемого элемента в стандартном растворе известного содержания может быть использовано для определения концентраций этого элемента в растворе с неизвестной концентрацией путем измерения количества поглощенной им энергии [13].

Анализ на содержание подвижных форм производился только для проб почв. Обработка полностью производилась в рамках лаборатории Института наук о Земле и в Ресурсном центре СПбГУ.

Атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (АЭСИСП) представляет собой метод атомно-эмиссионной спектрометрии, в котором в качестве источника возбуждения атомов используется индуктивно-связанная плазма (ИСП)[13].

Основной целью приготовления образца является обеспечение попадания концентрации элемента после использования разведения или концентрирования в рабочий диапазон прибора и получения раствора испытуемого образца, способного воспроизводимо распыляться. Некоторые системы ввода образца устойчивы к действию высоких концентраций кислот, но использование серной и фосфорной кислот может способствовать фоновому излучению, наблюдаемому в спектрах ИСП. Более предпочтительным, является использование азотной и хлороводородной кислот.

Для качественного исследования надлежащим образом должны быть выбраны следующие аналитические параметры:

- длины волн;
- скорости потоков газа-носителя (внешняя, промежуточная и внутренняя трубки горелки);
- мощность радиочастотного излучения; – положение для наблюдения (радиальное или аксиальное);
- скорость насоса;
- условия для детектора (усиление/напряжение
- для детектора с фотоумножающей трубкой, другие
- для матричного детектора;
- время интегрирования (установленное время для измерения интенсивности эмиссии на каждой длине волны).

Было подготовлено и проанализировано восемь растворов сравнения, концентрация которых находится в пределах диапазона калибровки, и контрольный раствор. Используя все полученные данные, рассчитывается калибровочная кривая методом регрессии наименьших квадратов. Затем строим кривую регрессии, отмечая средние значения, измеренные значения и доверительный интервал калибровочной кривой.

Методика является пригодной при условии соблюдения следующих требований:

- коэффициент корреляции составляет не менее 0,99;
- на калибровочном графике погрешности каждого калибровочного уровня должны быть распределены случайным образом.

Рассчитывают среднее значение и относительное стандартное отклонение для наименьшего и наибольшего калибровочного уровня. В случае если отношение рассчитанного стандартного отклонения наименьшего и наибольшего калибровочного уровня менее 0,5 или более 2,0, то более точная оценка калибровочного графика может быть получена с использованием взвешенной линейной регрессии. Линейная и квадратичная весовая функции применяются к полученным данным для нахождения наиболее подходящей для использования весовой функции. Если способы сравнения с калибровочной кривой выявляют отклонение от линейности, используют двумерную линейную регрессию.

Для методик количественного определения открываемость должна быть от 90 % до 110 %. Испытание считается недействительным, если, например, при определении микроэлементов, открываемость выходит за пределы от 80 % до 120 % от теоретического значения. Открываемость может быть определена на подходящем растворе сравнения (матричном растворе), в который добавляют известное количество анализируемого элемента (в диапазоне концентраций, который соответствует испытываемым образцам).

Сходимость должна быть не более 3 % для количественного определения и не более 5 % для испытания на содержание примесей.

Удостоверяются, что предел количественного определения (например, определенный с использованием приближения 10σ) ниже измеряемого значения.

Всего в двойной повторности было проанализировано 45 проб (90), так же 26 из них было разбавлено в 50 раз и повторно замерено содержание ТМ

4. СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В КОМПОНЕНТАХ ЛАНДШАФТА ГОРОДА КОСТОМУКШИ

На основе полученных данных производилась статистическая обработка данных по нескольким показателям.

Тяжелые металлы непрерывно мигрируют в природных средах. некоторыми из них особенно активно Следствием этой миграции нередко является возникновение участков и объектов повышенных либо пониженных содержаний тех или иных элементов по сравнению с их кларками. Чтобы оценить неоднородность такого распределения, можно использовать специальный показатель – кларк концентрации (K_k), который показывает, как отличается содержание химического элемента в изучаемом природном объекте от его кларка [16].

Так же для оценки воздействия были использованы государственные гигиенические нормы.

- Оценка уровня загрязнения почв населенных пунктов, которая проводится по двум показателям: коэффициенту концентрации отдельного вещества K_c и суммарному показателю загрязнения Z_c при наличии в почве нескольких загрязняющих компонентов [19].

- Гигиенические нормативы «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве», разработаны в соответствии с Федеральным законом от 30.03.99 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (Собрание законодательства Российской Федерации, 1999, № 14, ст. 1650; 2003, № 2, ст. 167; № 27, ст. 2700; 2004, № 35, ст. 3607) и Положением о государственном санитарно-эпидемиологическом нормировании, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.07.00 №554. Эти нормативы действуют на всей территории Российской Федерации и устанавливают предельные допустимые концентрации химических веществ в почве разного характера землепользования. Нормативы распространяются на почвы населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий, зон санитарной охраны источников водоснабжения, территории курортных зон и отдельных учреждений [9].

- Нормативы устанавливают ориентировочно допустимые концентрации (ОДК). Действуют на территории Российской Федерации и химических веществ в почве разного характера землепользования. Распространяются на почвы населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий, зон санитарной охраны источников водоснабжения, территории курортных зон и отдельных учреждений [8].

4.1 Содержание элементов в почве

Основные тяжелые металлы, 11 элементов: V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Ba, Pb, Mn, Fe.

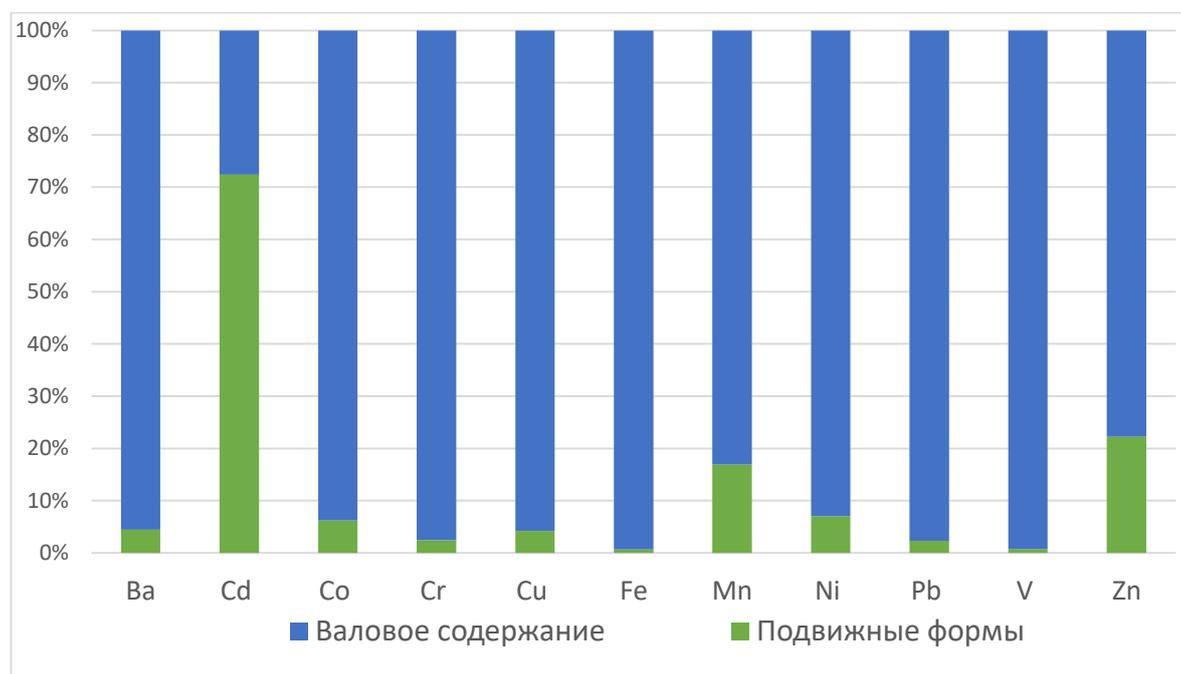


Рисунок 5 - Доля подвижных форм тяжелых металлов от их общего содержания в почвах.

Из диаграммы видно, что доля подвижных форм, V, Pb, Cr, Fe составляет соответственно от 0,2 % до 3% от их общего содержания. Доля подвижных форм Mn, Zn в почвах от их общего содержания достаточно велика от 10% до 21%, а доля подвижных форм Cd достигает 70%, что увеличивает их реальную токсичность, поскольку подвижная форма является лабильной и может перейти в растения.

Таблица 5 Валовое содержание микроэлементов в почвах для г Костомукши в 2019 году.

Валовое содержание	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Среднее арифметическое	360,20	0,15	14,14	52,07	12,02	45049,77	837,68	27,85	20,17	62,96	60,87
max	664,00	0,52	260,00	115,00	47,00	247100,00	17584,51	241,00	196,00	160,00	194,00
min	88,00	0,02	0,58	5,02	0,10	2800,00	154,93	3,93	4,19	4,74	13,80
мода	423,00	0,06	нет	нет	нет	28700,00	472,54	нет	13,20	33,90	121,00
медиана	385,50	0,07	7,76	50,30	10,40	33950,00	437,68	21,60	12,40	52,15	44,50

Таблица 6 Содержание подвижных форм микроэлементов в почвах для г. Костомукши в 2019 году.

Подвижные формы	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Среднее арифметическое	16,72	0,38	0,94	1,30	0,53	306,88	170,30	2,10	0,47	0,47	17,41
max	42,10	3,32	3,30	6,10	1,73	2930,00	1835,00	43,40	3,51	3,51	102,40
min	3,35	0,00	0,06	0,08	0,00	0,73	0,61	0,10	0,04	0,04	1,09
мода	20,80	0,01	0,25	2,21	0,00	нет	нет	0,71	0,23	0,23	нет
медиана	15,46	0,16	0,38	0,53	0,46	89,45	54,15	0,54	0,28	0,28	8,19

Таблица 7 Среднее валовое содержание элементов в земной коре, мк/кг.

Химический элемент, мк/кг	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
Кларк по Виноградову	500	0,5	8	200	20	46500	850	40	10	100	50
К конц.	0,72	0,29	1,77	0,26	0,62	0,97	0,99	0,70	2,02	0,63	1,22
К расс.	1,39	3,44	0,57	3,84	1,63	1,03	1,01	1,44	0,50	1,59	0,82
Медиана	385,50	0,07	7,76	50,30	10,40	33950,00	437,68	21,60	12,40	52,15	44,50

	Ва р
Кларк по Виноградову	500
К конц.	0,72
К расс.	1,39
Доля кларка	139

Кларки концентраций, рассчитанные для тяжелых металлов, в большей части не превышают среднего содержания в земной коре ($KK \ll 1$), поэтому можно предположить, что они рассеиваются в почвах (таблица 7). Co, Zn, элементы которые превышают кларк, $KK \gg 1$, что указывает на региональные особенности и влиянием Zn-содержащих руд.

Корреляция данных

Корреляция – это соотношение, взаимозависимость нескольких переменных.

На основе полученных данных в программе Excel был проведен корреляционный анализ. (ПРИЛОЖЕНИЕ 2).

По двум показателям содержание подвижных форм элементов и валовому содержанию в почве. Содержание подвижных форм никеля и меди имеет сильную корреляцию (0,73). Кроме того, были обнаружены корреляции между Zn-Mn. Между распределением никеля, меди и железа в почвах города Костомукша наблюдается положительная корреляция, что свидетельствует о синергизме между данными химическими элементами (или об общем источнике их поступления). При этом были обнаружены значительные корреляции между Mn-Fe, что говорит о возникновении железомарганцевых конкреций, которые возникают в почвах северо-таежной зоны, где формируется переувлажненный режим, за счет этого в поверхностных горизонтах почвах много органических кислот и органического вещества. Роль органического вещества в аккумуляции тяжелых металлов в поверхностных горизонтах значительна в горизонте O происходит закрепление подвижных форм Mn, Zn.

Суммарный показатель загрязнения Z_c

Показатель рассчитывался по 9 основным элементам. Данные по фоновому содержанию взяты у Владимира Решетняка, который проводил похожие исследования на территории ГПБЗ Костомукшский в тот же период (Табл 8-9)

Таблица 8 Содержание подвижных форм микроэлементов в поверхностном слое (Н) почв для Костомукшского заповедника за 2018 г., мг/кг(среднее, минимальное и максимальное значение)

Годы	Ba	<u>Cd</u>	<u>Cu</u>	Cr	Fe	<u>Mn</u>	Ni	<u>Pb</u>	Zn
2018	<u>26,33</u>	<u>0,23</u>	<u>2,24</u>	<u>0,18</u>	<u>22,2</u>	<u>165</u>	<u>0,29</u>	<u>1,39</u>	<u>29,73</u>
n=17	17,23-32,88	0-1,44	0,22-4,38	0-0,65	4,71-122,81	18,84-496,66	0,03-0,9	-0,18-3,13	5,78-180,83

Таблица 9 Содержание подвижных форм микроэлементов в горизонте (B) для Костомукшского заповедника за 2018 г, мг/кг. (среднее, минимальное и максимальное значение)

Годы	Ba	<u>Cd</u>	<u>Cu</u>	Cr	Fe	<u>Mn</u>	Ni	<u>Pb</u>	Zn
2018	<u>14,93</u>	<u>0,02</u>	<u>3,52</u>	<u>1,8</u>	<u>527,49</u>	<u>28,74</u>	<u>0,5</u>	<u>1,53</u>	<u>4,07</u>
n=17	7,98-24,19	0-0,12	1,35-5,77	0,9-2,92	363,41-819,18	2,86-56,45	0,38-0,67	0,79-2,86	1,3-10,83

Превышение Z_c в большей мере зависти от высокого содержания кадмия, железа и марганца в некоторых образцах почв. Преимущественно в горизонте О. Это может быть связано с естественным высоким содержанием марганца и железа в почвах Карелии.

Кадмий, как правило, замещает цинк в сфалерите, а также кальций и марганец в таких широко распространенных силикатах, как биотит и амфиболы. Среди магматических пород кадмий концентрируется в основных (габбро, базальты), а среди осадочных пород накапливается в тонкозернистых сланцах. В общем этот элемент склонен концентрироваться в поверхностных горизонтах почв и ассоциироваться с органическим веществом [17].

Таблица 10 Суммарный показатель загрязнения по двум горизонтам

ЭП (горизонт О)		Zс	ЭП (горизонт В)		Zс
	15	4	15	1	
	16	2	16	11	
	18	5	18	8	
	19	2	19	0	
	20	4	20	3	
	22	6	22	3	
	23	7	23	20	
	24	5	24	49	
	25	2	25	2	
	27	6	28	4	
	28	21	29	106	
	29	67	30	4	
	30	23	31	67	
	32	87	32	116	
	33	162	33	1	
	34-1	19	34-1	2	
	34-2	3	34-1	1	
	34-3	1	34-2	46	
	35	4	34-3	169	
			35	3	

Фоновые показатели

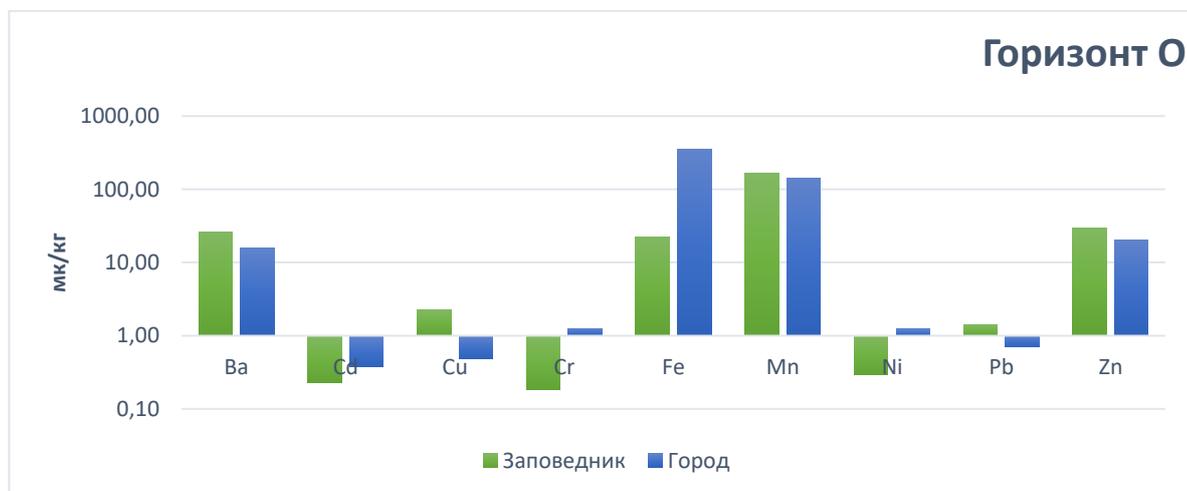


Рисунок 6 Диаграмма содержания подвижных форм элемента на фоновой территории и на территории исследования (горизонт О).

Превышение фона в поверхностном горизонте наблюдается по нескольким элементам Cd, Cr, Fe, Ni. Содержание железа в городских ландшафта в 16 раз больше фоновых, хрома в 7 раз, никеля в 4 раза, и кадмия в 2 раза (рис 6).



Рисунок 7 Диаграмма содержания подвижных форм элемента на фоновой территории и на территории исследования (горизонт В)

Ситуация распределения элементов меняется в горизонте В. Здесь зафиксированы превышения по Ba, Cr, Mn, Zn. Содержание кадмия больше в 44 раза, никеля в 6 раз, марганца в 5 раз, цинка в 2,5 и бария в 2 раза.

Концентрации ТМ по удалению от источника

Так же для того чтобы оценить степень воздействия ГОКа на близлежащие территории, можно посмотреть концентрации ТМ по удалению от источника. Поскольку аккумуляция элементов происходит не равномерно по почвенному профилю, следует рассмотреть распределение по двум генетическим горизонтам.

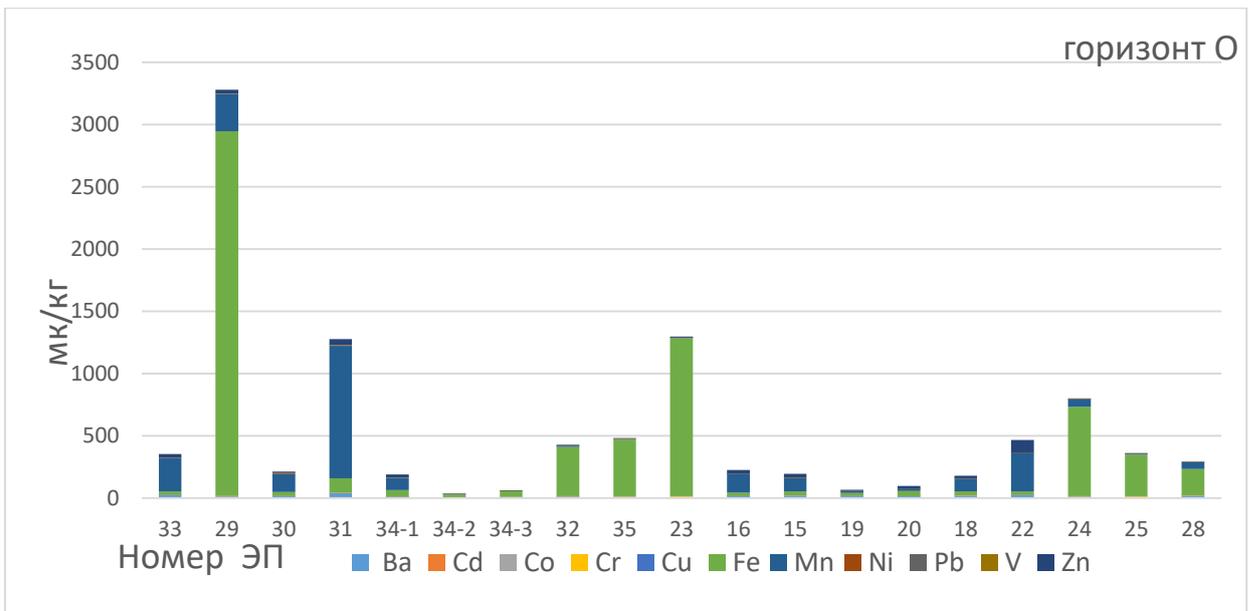


Рисунок 8 - Распределение элементов по удалению от источника (горизонт О) Подвижные формы.

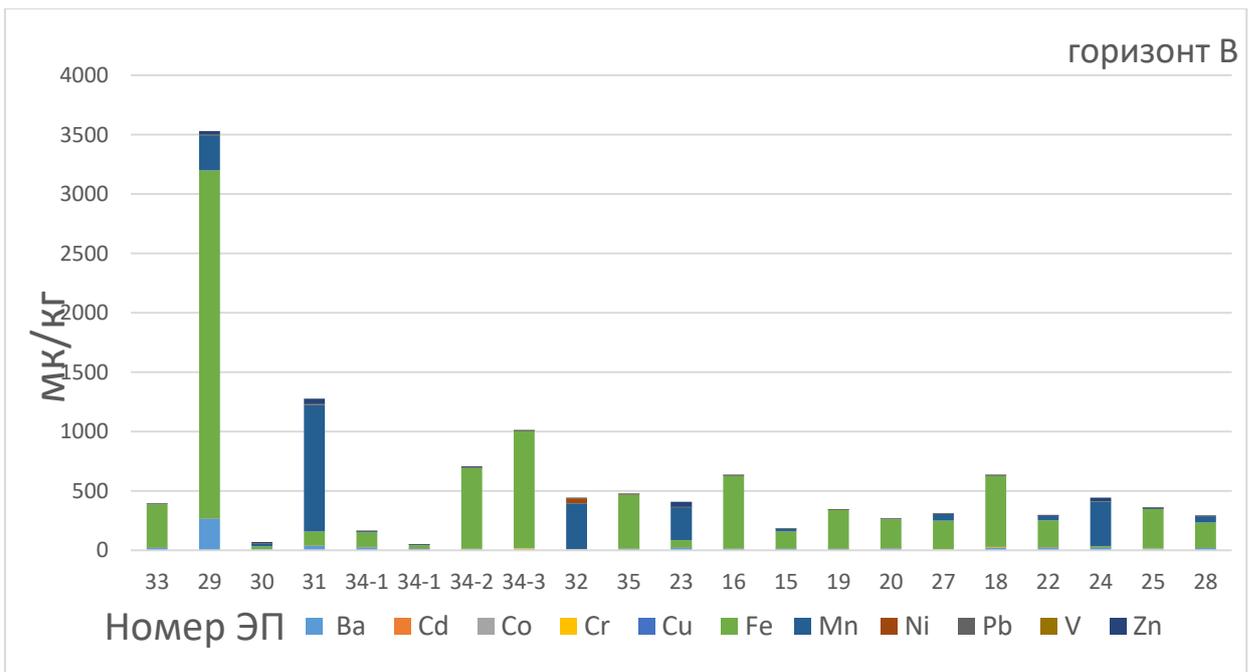


Рисунок 9 - Распределение элементов по удалению от источника (горизонт В) Подвижные формы.

Ключевыми элементами будут Fe, Mn, Zn. Их повышенное содержание обусловлено месторасположением в местах скопления транспорта, рядом с трассами и промышленными свалками. Они соответственно расположены близ ГОКа. Остальные всплески содержания ТМ находятся в городской черте рядом с ЖД путями.

Значительная часть элементов в кислых заболоченных почвах присутствует в относительно подвижных и опасных для живого вещества формах; таковы соединения Pb, Cr, Ni, Co, Cu, Zn, Cd и Hg. Такие переувлажненные участки встречались на ЭП №21,23,29. В слабокислых и нейтральных почвах с хорошей аэрацией образуются труднорастворимые соединения Pb.

ПДК. Валовое содержание

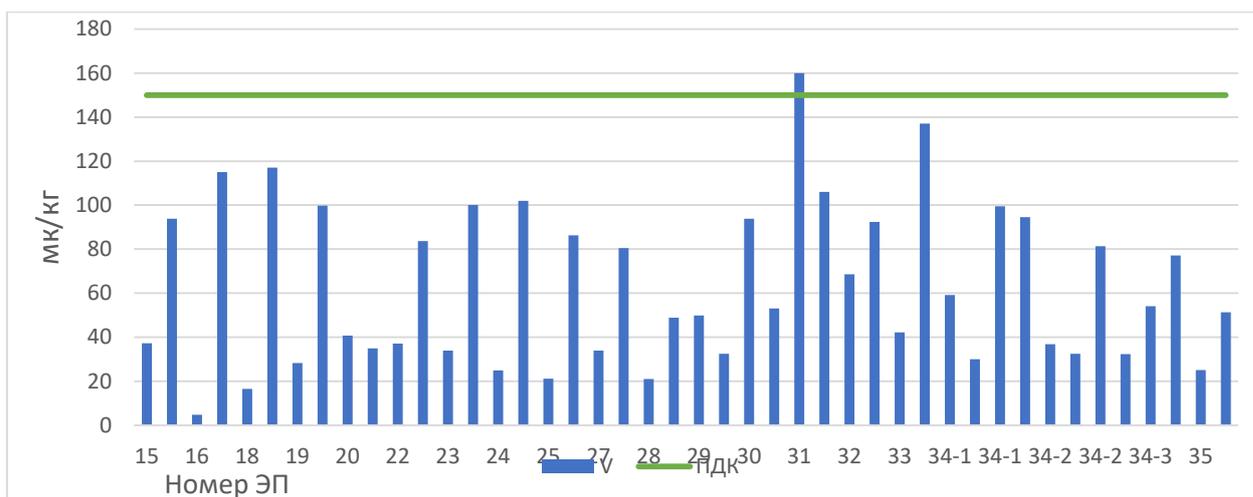


Рисунок 10 – График валового содержания V и ПДК

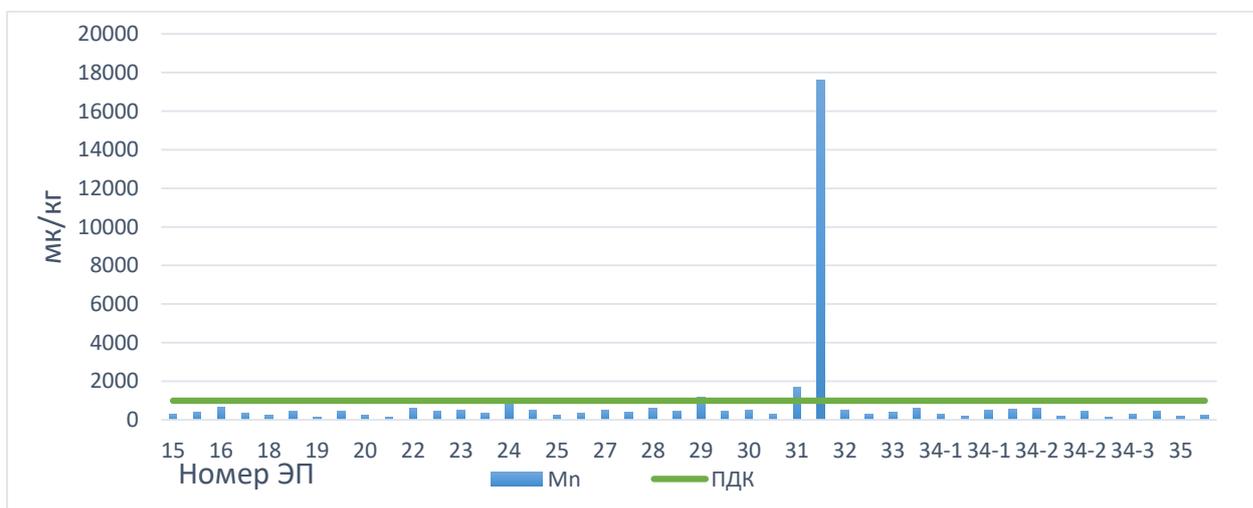


Рисунок 11 - График валового содержания Mn и ПДК

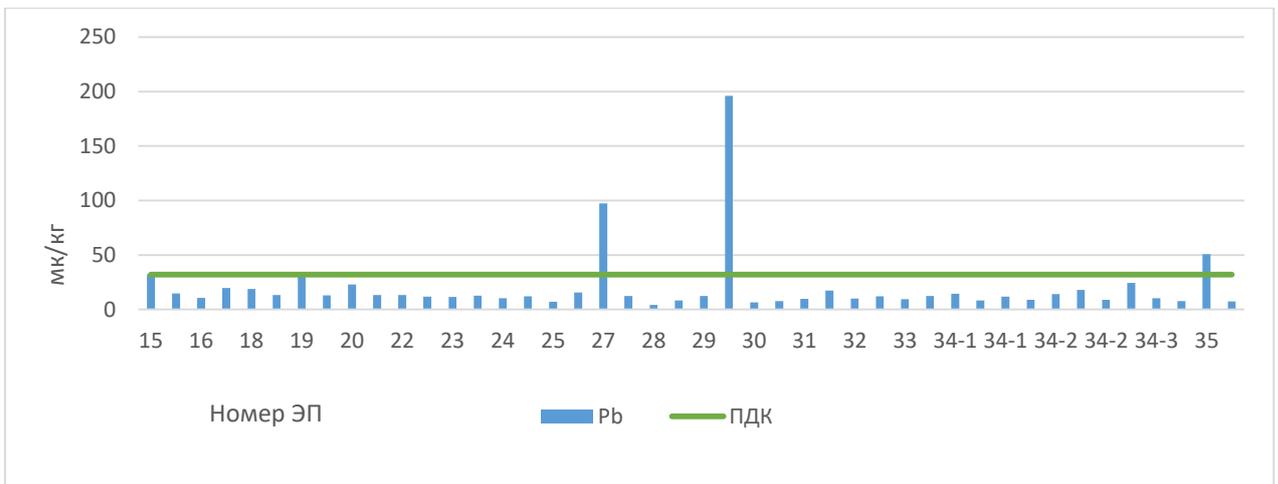


Рисунок 12 - График валового содержания Рb и ПДК

Превышения ПДК по основным элементам наблюдается в одной и той же точке отбора, которой является сильно нарушенное сообщество недалеко от ГОКа близ хвостохранилища. Площадка вдоль "плотины" за насыпью. По Свинцу превышения на площадке рядом с промышленной свалкой и около крупных авто и ЖД линий.

ПДК. Подвижные формы

Превышения зафиксированны только по Zn, Ni, Mn.

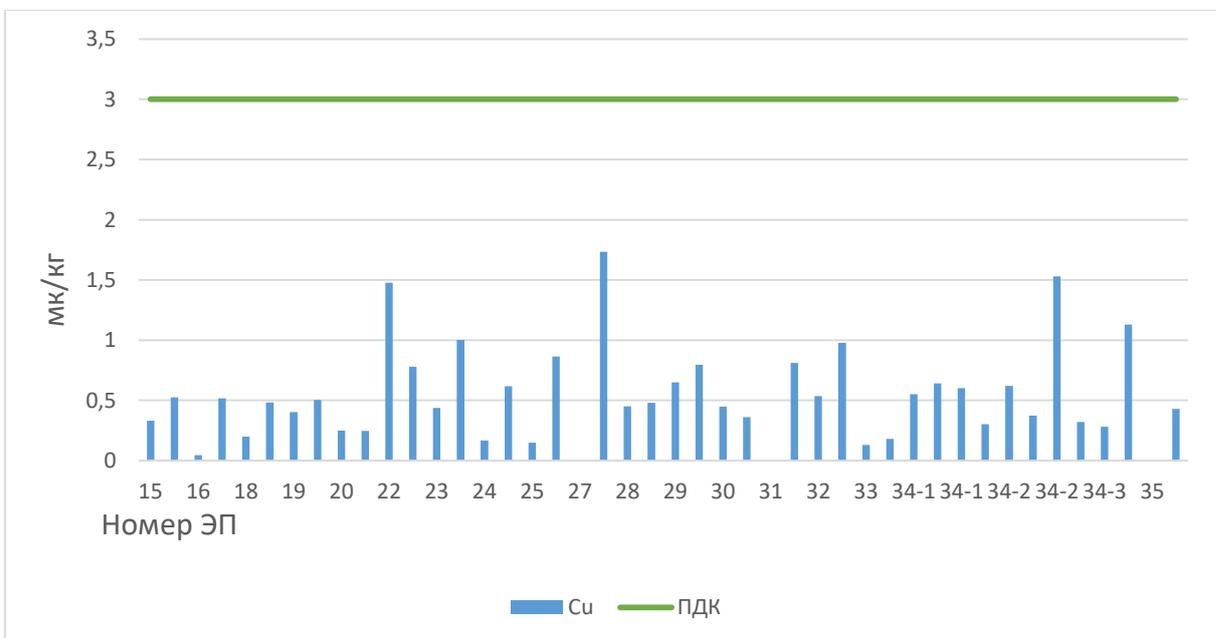


Рисунок 13 – График содержания подвижных форм Cu и ПДК

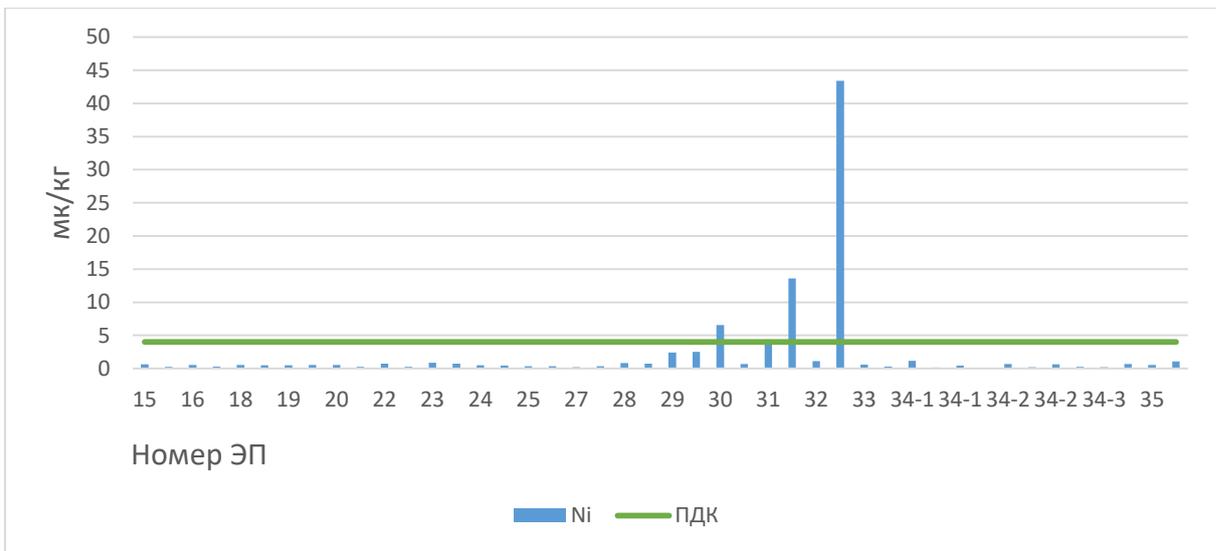


Рисунок 14 – График содержания подвижных форм Ni и ПДК

Превышение ПДК по никелю обнаружено локально. Пиковые точки относятся к поверхностному горизонту О. ЭП №30- ГОК. У здания Дирекции, на верхней части склона. Сильно нарушенное сообщество рядом с парковкой. ЭП №29-Рядом с ЖД вокзалом. ЭП №33-в 5 км от ГОКа, так же близ трассы. Можно предположить, что данные показатели содержания зависят от внешнего фактора в виде транспорта. Выбросы активно аккумулируются и закрепляются в верхнем слое.

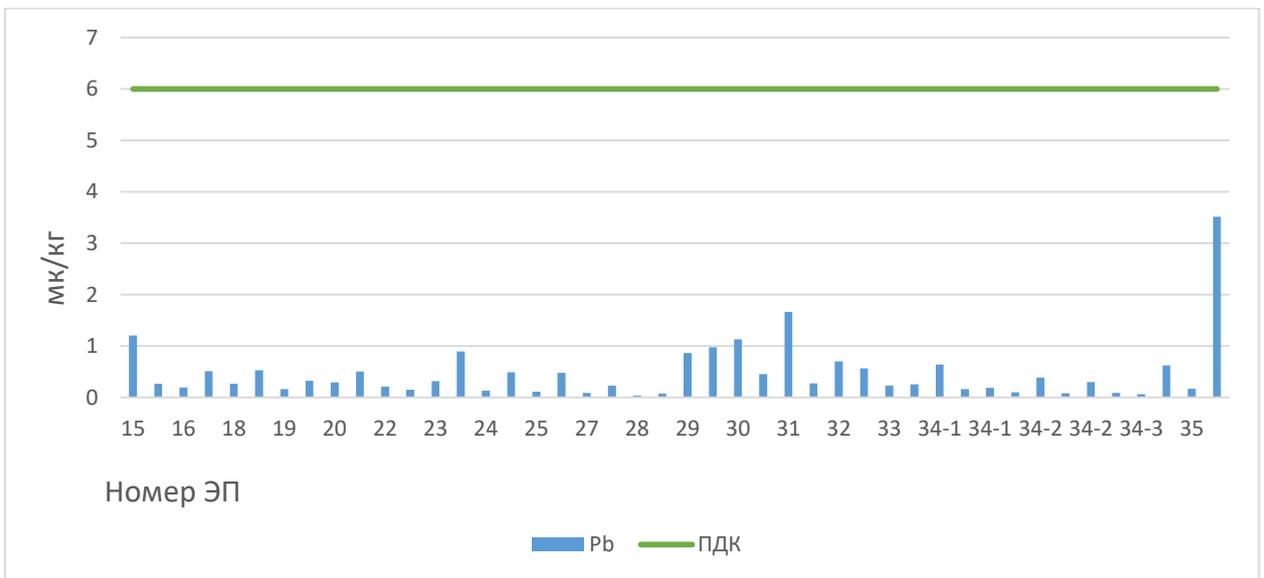


Рисунок 15 – График содержания подвижных форм Pb и ПДК

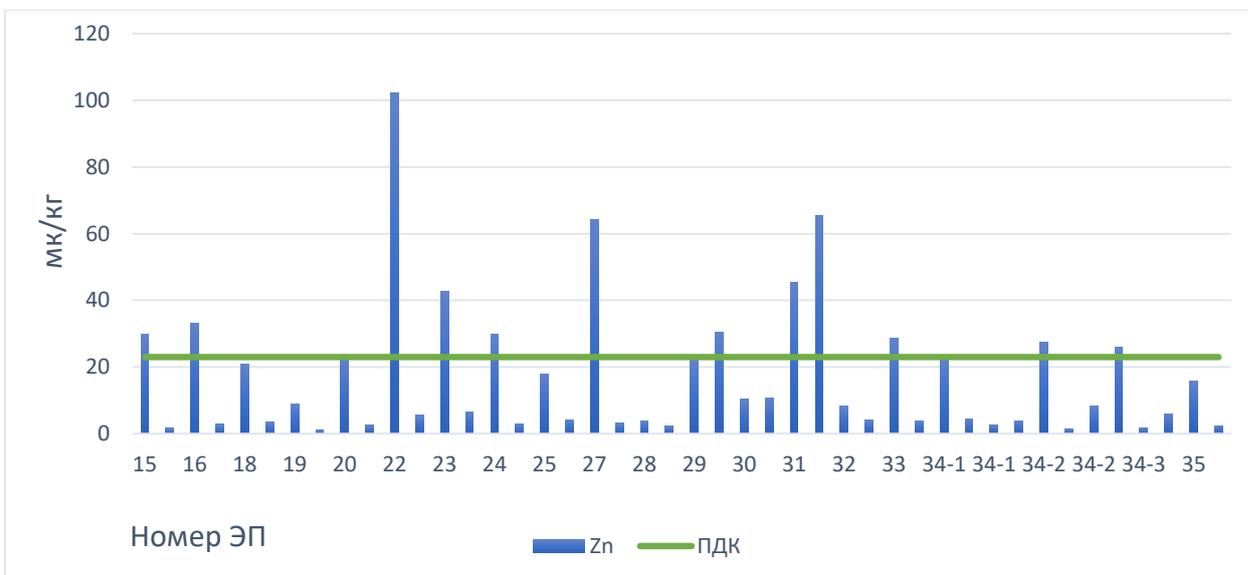


Рисунок 16 – График содержания подвижных форм Zn и ПДК

Содержание цинка, превышающее ПДК в основном в горизонте О, так же точки отбора с повышенным содержанием цинка расположены рядом с трассой и непосредственно на берегу шламохранилища.

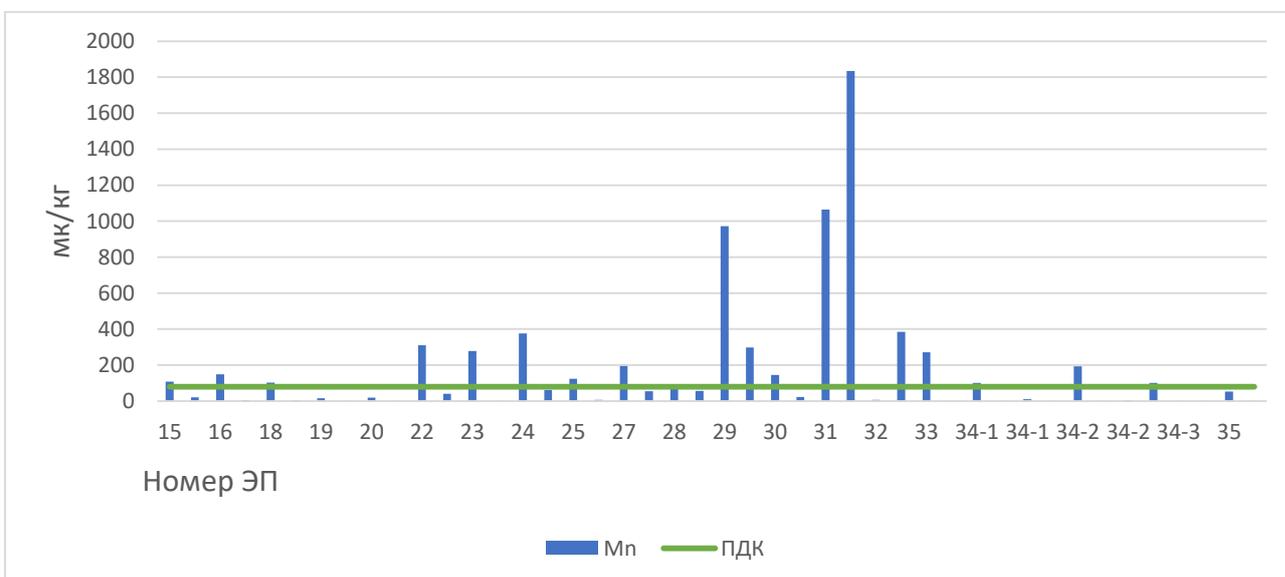


Рисунок 17 – График содержания подвижных форм Mn и ПДК

Повышенное содержание марганца обусловлено высоким естественным его содержанием в данных природных условиях. Так же марганцу свойственно аккумулироваться в подстилке, поэтому максимальные его содержания обнаружено в горизонте О.

Максимальные показатели содержания элементов в горизонте О, локальны, обусловлены условиями среды. Накопление и закрепление в подстилке. ЭП №29 - Площадка вблизи отвалов и дороги на Вокнаволоок. Сильно нарушенное сообщество, фрагментарно сохранившийся лесной участок. ЭП № 31- рядом с ЖД путями близ ГОКа, ЭП №32- рядом с дорогой в сторону города от ГОКа.

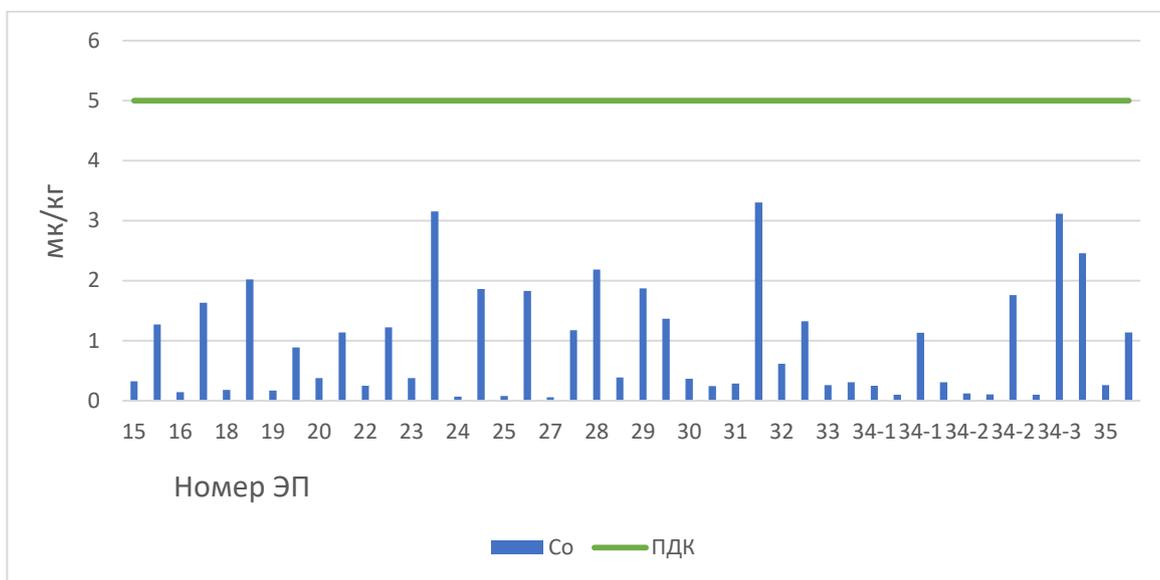


Рисунок 18 – График содержания подвижных форм Co и ПДК

ОДК по Валовому содержанию

Результаты сравнения содержания ТМ с ОДК подтвердили выводы по ПДК. Повторяются локальные всплески содержания Ni и Pb. Только по цинку наблюдается частые превышения по ОДК, но это связано с низким показателем ОДК и естественным высоким фоном цинка.

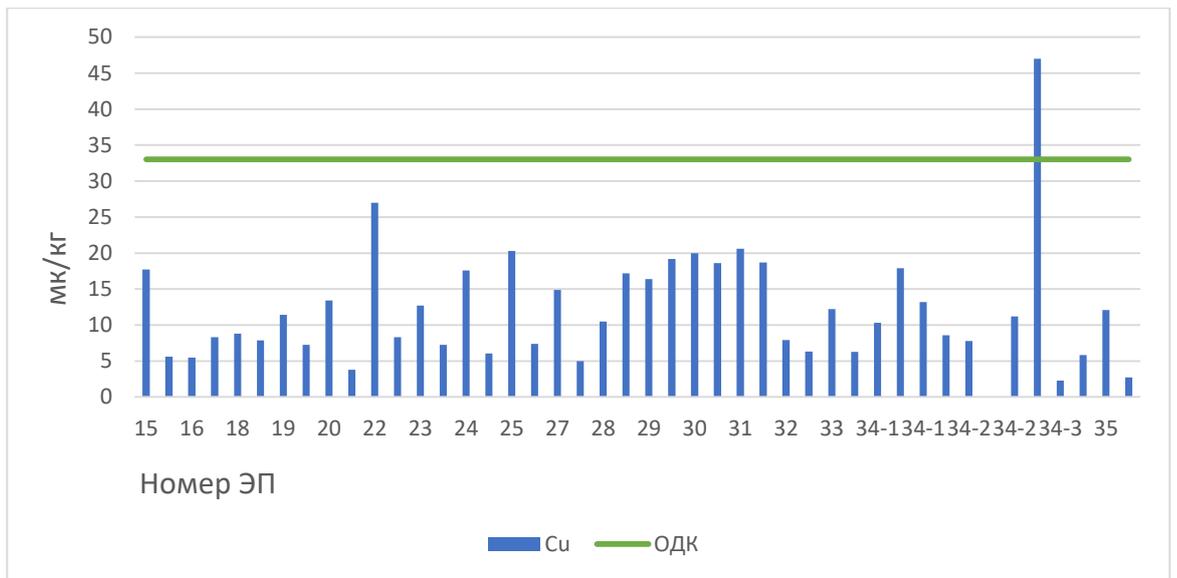


Рисунок 19 – График валового содержания Cu и ОДК

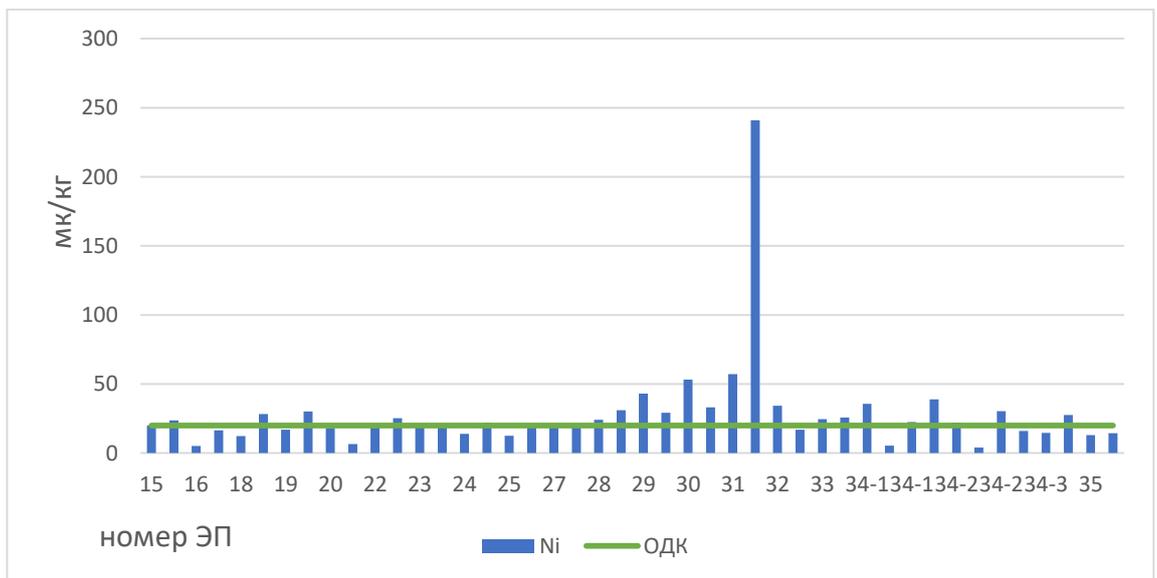


Рисунок 20 – График валового содержания Ni и ОДК

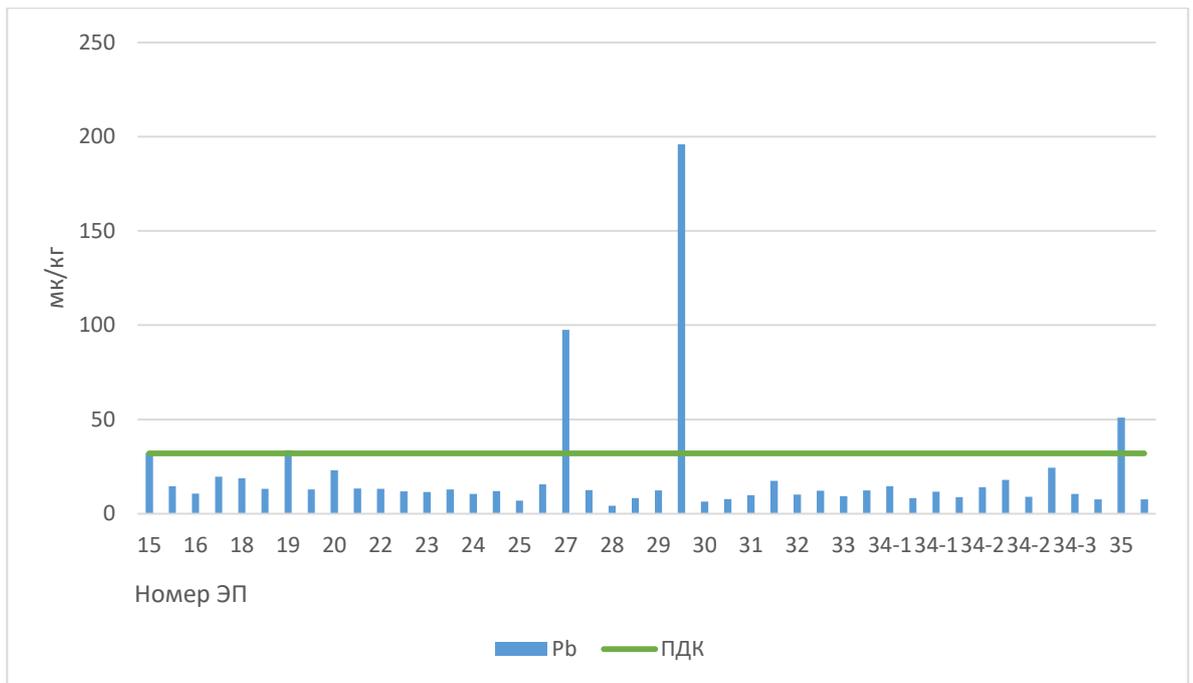


Рисунок 21 – График валового содержания Pb и ОДК

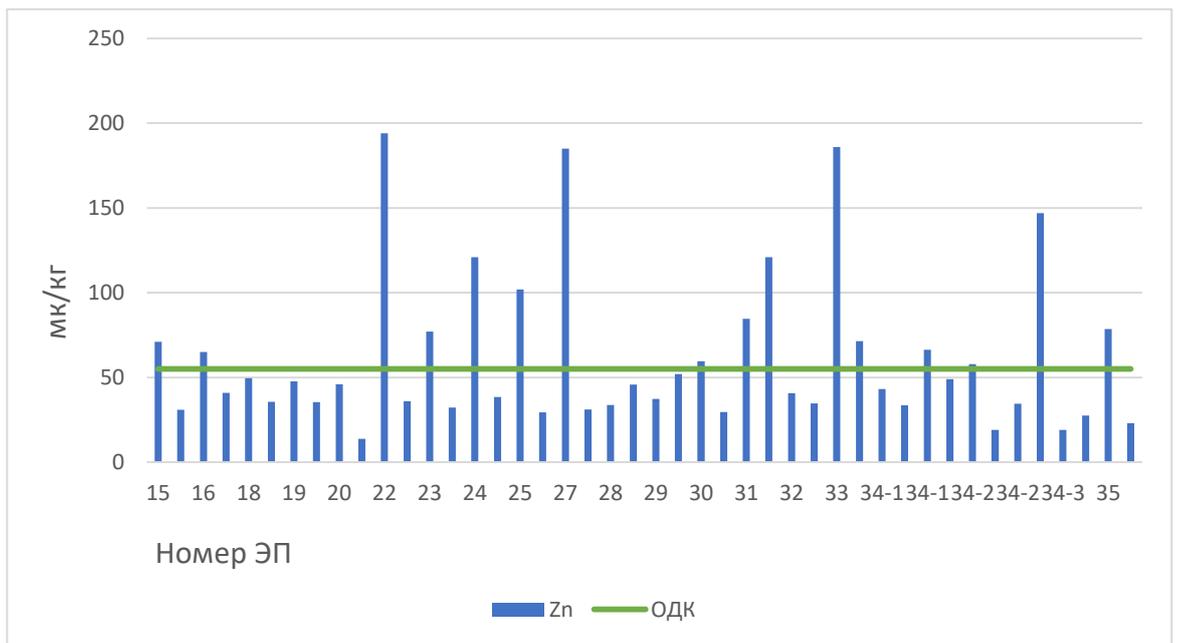


Рисунок 22 – График валового содержания Zn и ОДК

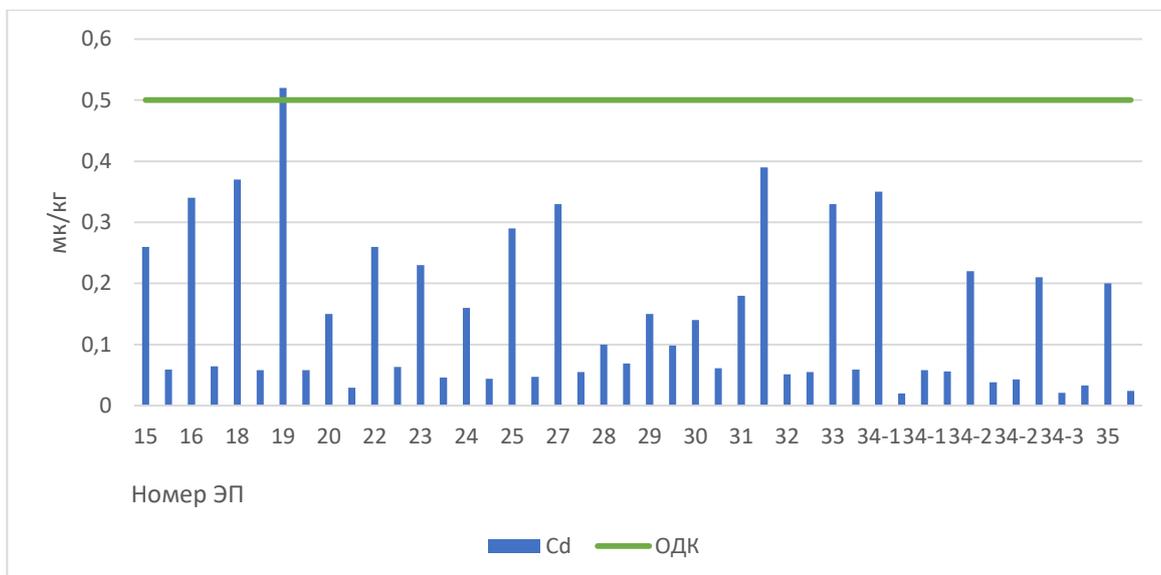


Рисунок 23 – График валового содержания Cd и ОДК

Миграция подвижных форм элементов в почвенном профиле

Во время полевых исследований было заложено 3 почвенных разреза. Они находились на разных уровнях одной формы рельефа – склона моренного холма (рис 24). В каждом разрезе были отобраны пробы обнаруженных генетических горизонтов.



Рисунок 24 – Схема моренного холма с точками отбора.

На основе трех ниже представленных диаграмм можно сделать выводы о накоплении ТМ не только вдоль почвенного профиля, но и об распространении элементов сверху вниз по склону холма. На склоне содержание элементов значительно меньше, так как происходит вертикальный смыв.

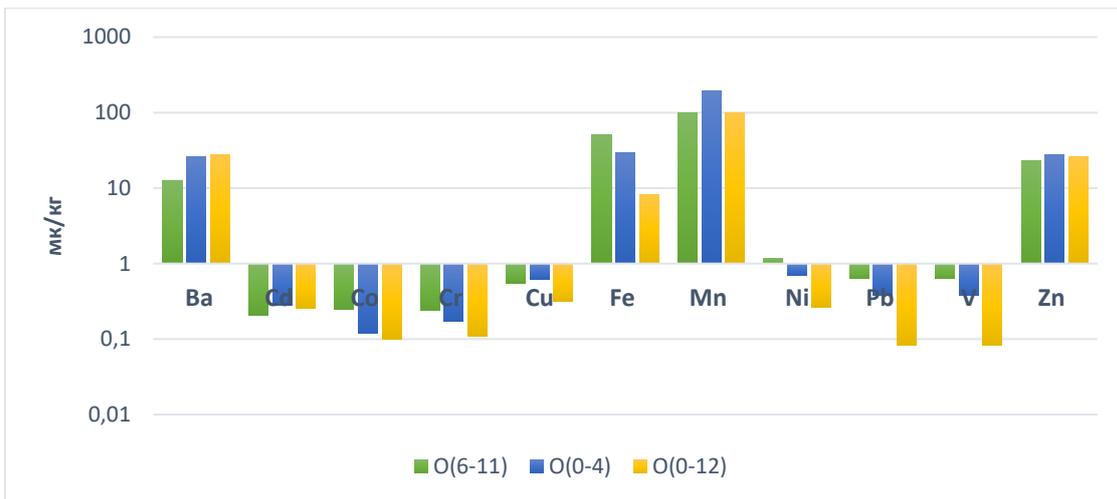


Рисунок 25- Горизонт О на площадках 34-1,34-2,34-3

Поскольку сверху вниз происходит смыв элементов. Меньшие содержания подвижных форм обнаружены в горизонте О в нижней части склона холма, и примерно одинаковые на вершине и подножье. Так же можно выделить основные элементы, которые закрепляются в поверхностном горизонте, это Fe, Mn, Cd, Zn.

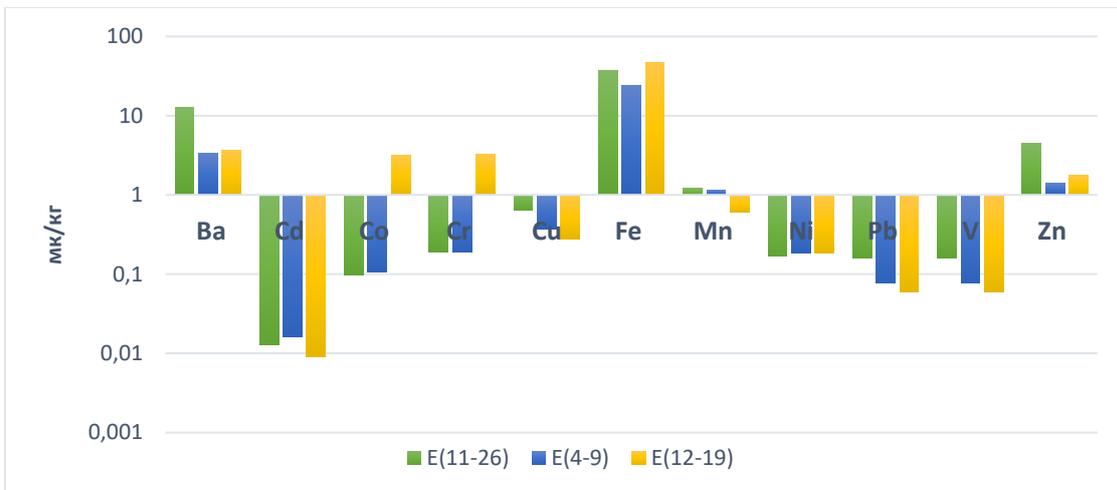


Рисунок 26- Горизонт Е на площадках 34-1,34-2,34-3

По своим свойствам горизонт Е является горизонтом вымывания. Поэтому общее содержание подвижных форм ТМ будет ниже, чем в горизонтах О и В.

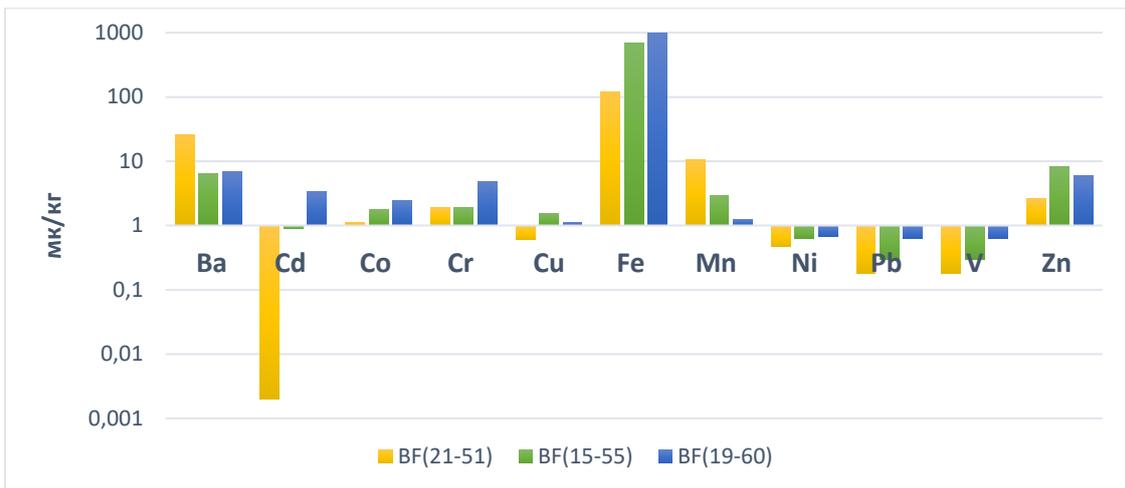


Рисунок 27- Горизонт В на площадках 34-1,34-2,34-3

Иллювиальный горизонт В аккумулирует тяжелые металлы, в особенности Fe, значение содержания железа достигает нескольких сотен. Максимальные значения зафиксированы у подножия склона моренного холма, происходит не только вымывание из вышележащих горизонтов, но и по средствам плоскостного смыва.

4.2 Содержание элементов в растениях

Известно, что кора древесных растений отличается хорошими аккумуляционными свойствами, и это часто используется в практике биомониторинга [30]. Для того чтобы отследить миграцию и поведение тяжелых металлов в растениях были отобраны пробы корки сосны *Pinus sylvestris*.

Химический состав растений отражает элементный состав почвенной среды. Однако на эту общую закономерность оказывают влияние многие факторы. Поэтому содержание тяжелых металлов в растениях очень изменчиво и на не загрязненных почвах колеблется в широких интервалах. по степени накопления выделяется несколько групп элементов:

1. Cd, Cs, Rb - поглощаются легко.
2. Zn, Mo, Cu, Pb, Ag, As, Co - средняя степень поглощения.
- 3 Mn, Ni, Li, Cr, Be, Sb - слабо поглощаются.
- 4 Se, Fe, Zn, Ba, Te - трудно доступны растениям.

Проведено сравнение показателей валового содержания в золе корки сосны *Pinus sylvestris* с кларком растений по В.В. Добровольскому 1998 (рис 28).



Рисунок 28– Диаграмма отношения среднего валового содержания элемента к Кларку растений по Добровольскому.

На основе диаграммы (рис 28) можно сделать вывод что содержание ТМ в растениях не превышает региональное по большинству элементов.

Повышенное содержание зафиксированы по Cd, отличие от других токсических элементов, кадмий легко поглощается корнями растений, поскольку находится в подвижных формах. Кадмий наиболее подвижен в кислых почвах при кислотности (рН), равной 4,5-5,5. Для растительного организма кадмий очень токсичен.

Если сравнивать показатели значения содержания элементов на фоновой территории (ГПБЗ Костомукшский) и в городских ландшафтах, то можно выделить превышения по Fe, Cr, Ni и незначительное превышение по Zn. Содержание железа в 27 раз и хром в 3 раза. Остальные элементы незначительно отличаются от фоновых.

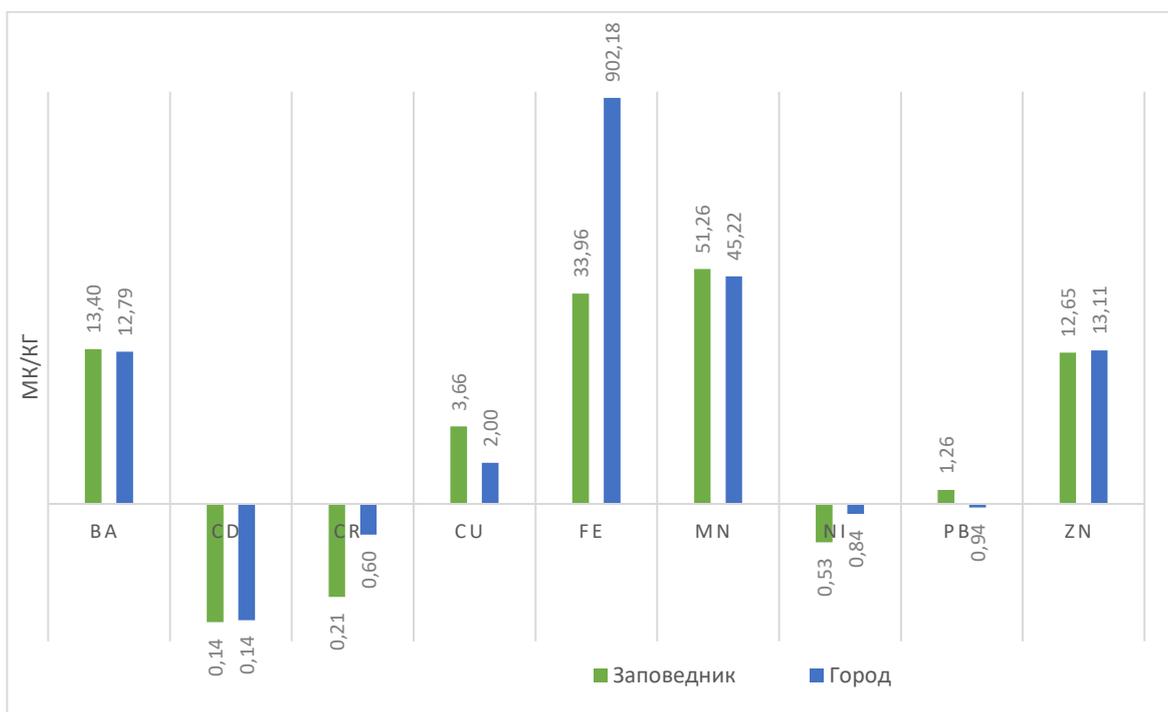


Рисунок 29 – Диаграмма фоновое содержание и содержания в городских ландшафтах

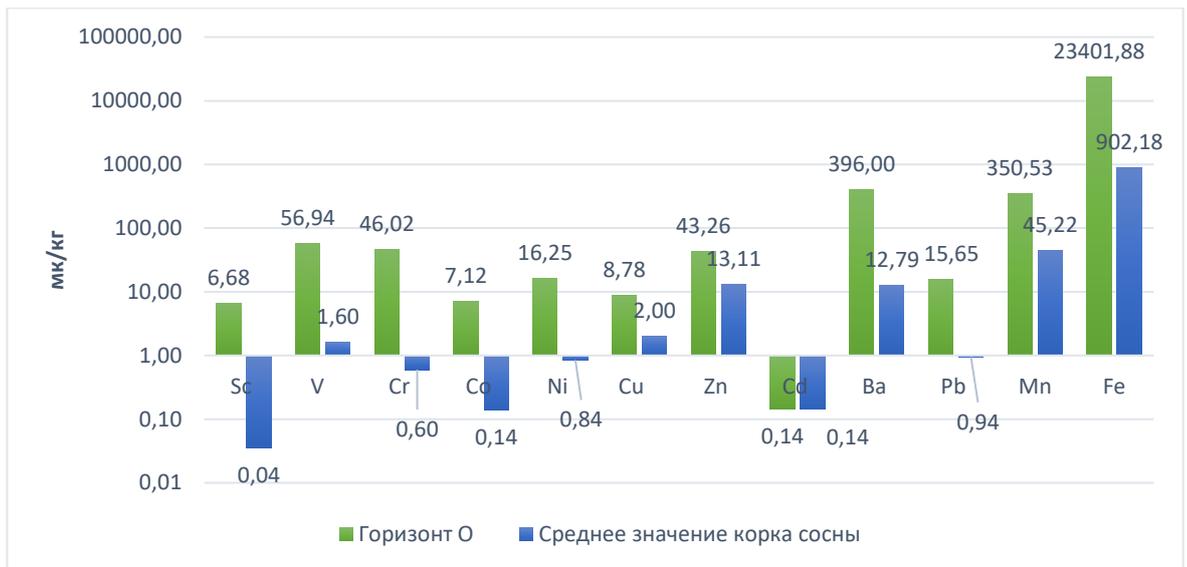


Рисунок 29 – Диаграмма отношения среднего валового содержания элемента в золе корки сосны к среднему значению в горизонте O.

На данном графике показано отношение валового содержания ТМ в почвенном горизонте O и в золе корки сосны. Можно проследить зависимость как более подвижные элементы переходят и накапливаются в растительности. Например, показатели по Cd, Mn, Fe, Zn, Ba параллельно увеличиваются в двух средах. С этим связаны локальные превышения содержания Cd по сравнению с кларком.



Рисунок 31– Диаграмма отношения среднего валового содержания элемента в золе корки сосны к среднему значению в горизонте B.

Такое же соотношение мы наблюдаем, если сравниваем валовые значения в корке сосны и в генетическом горизонте B.

Корреляционный анализ валового содержания элементов к содержанию ТМ в золе корки сосны.

Химический состав растений отражает элементный состав почв и накопление ТМ растениями; в значительной степени зависит от уровня их загрязнения ТМ, которые могут поступать в растения из почвы. Сильная прямая корреляция между этими показателями обнаруживается не всегда, поскольку поток ТМ из почвы в растения определяется не только валовым содержанием, но и концентрацией в почве их подвижной формы, что тесно связано с химическим составом техногенных выбросов и буферными возможностями почвы. В настоящей работе изучали корреляционные связи между валовым содержанием некоторых металлов в почве и в золе корки сосны. Коэффициенты корреляции позволяют выявить разные источники поступления ТМ в растения и взаимосвязи между металлами в почве и растениями.

Больше всего положительных корреляционных связей медью и цинком ($0,46 \pm 0,25$), хромом, марганцем, никелем и кобальтом ($0,94 \pm 0,16$). Для соединений кадмия положительные корреляционные связи выявлены также с соединениями цинка ($0,61 \pm 0,18$), марганца ($0,78 \pm 0,09$). Положительные корреляционные связи установлены еще для ряда пар металлов, таких как железо-ванадий, кадмий-марганец, хром-ванадий, кобальт-марганец, цинк-кадмий, ванадий-марганец, свинец-цинк, со значениями коэффициента корреляции 0,57-0,93.

Анализируя приведенные и опубликованные ранее данные, можно заключить, что на площадках происходит локальное загрязнение такими элементом, как кадмий, марганец, кобальт и железо [ПРИЛОЖЕНИЕ 3].

Коэффициент биологического поглощения (A_x)

Содержание большинства элементов в золе значительно отличается от их среднего содержания в земной коре, так как растения избирательно поглощают элементы [27]. Интенсивность поглощения Б.Б. Польшов предложил характеризовать частным от деления количества элемента, содержащегося в золе растений, на количество элемента, содержащегося в почве или горной породе. Это частное называется коэффициентом биологического поглощения (A_x). Таким образом, A_x характеризует интенсивность поглощения организмом того или иного химического элемента и показывает, во сколько раз содержание элемента в золе определенного организма больше или меньше, чем в конкретной горной породе или почве.

На основе данных можно построить ряд интенсивности поглощения:

Cd>Zn>Cu>Mn>Pb>Ba>Ni>Fe>Co>V>Sc

Сосна интенсивнее всего поглощает Cd, Zn, Cu, в то время, как её потребность в V, Fe, Co, Ni, особенно, Cr и Sc минимальна (таб 11).

Общую способность вида можно выразить с помощью показателя Биогеохимической активности вида (БХА). В условиях данного ландшафта он равен 1,88 для сосны *Pinus sylvestris*.

Элементы, коэффициент биологического поглощения которых превышает 1, называются элементами «биологического накопления». Для сосны это Cd. Другие элементы, такие как Zn, Cu V, Fe, Co, Ni, только захватываются, а не накапливаются данным видом.

Таблица 11 Коэффициент биологического поглощения

№ЭП	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Ba	Pb	Mn	Fe
15	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,13	0,19	0,55	0,02	0,03	0,11	0,00
16	0,00	0,01	0,01	0,01	0,04	0,28	0,20	0,78	0,09	0,06	0,10	0,01
18	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,26	0,32	0,97	0,03	0,07	0,20	0,01
19	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02	0,20	0,29	0,55	0,04	0,04	0,13	0,01
20	0,01	0,02	0,01	0,03	0,04	0,23	0,43	1,64	0,02	0,04	0,13	0,03
22	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03	0,10	0,16	1,04	0,02	0,07	0,12	0,01
23	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,20	0,32	1,20	0,03	0,10	0,14	0,01
24	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,13	0,12	0,72	0,04	0,05	0,06	0,01
25	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,12	0,17	1,11	0,06	0,07	0,15	0,01
26	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,19	0,11	0,91	0,06	0,02	0,12	0,01
31	0,01	0,03	0,02	0,00	0,01	0,10	0,16	0,84	0,02	0,03	0,01	0,01
32	0,01	0,08	0,03	0,03	0,10	0,33	0,30	0,85	0,03	0,04	0,08	0,12
33	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,24	0,07	0,40	0,03	0,08	0,06	0,01
34-1	0,00	0,03	0,01	0,01	0,03	0,13	0,20	1,02	0,03	0,13	0,09	0,02
34-3	0,00	0,05	0,01	0,02	0,07	0,71	0,33	2,97	0,02	0,03	0,08	0,14
35	0,01	0,03	0,03	0,04	0,06	0,38	0,54	1,69	0,04	0,09	0,19	0,04
Среднее значение	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,23	0,24	1,08	0,04	0,06	0,11	0,03

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование ландшафтов на территории города Костомукши проводились несколько этапов.

Первый этап – литературный обзор.

Собраны данные о физико-географическом положении территории исследования и история Карельского окатыша. Были изучены данные об особенностях поведения тяжелых металлов в естественных и антропогенно нарушенных ландшафтах, этому посвящена вторая глава. Были выбраны биогеохимические индикаторы в виде генетических горизонтов почв и корки сосны. Также рассматривались результаты исследований прошлых лет на данной территории. На основе которых был разработан план сбора информации: заложение точек, система описания растительности, отбор проб.

Второй этап - полевых работ:

- Произведено описание 22 точек
- Отобрано 17 проб корки сосны *Pinus sylvestris.*,
- 45 почвенных пробы (гор. О и В)

Можно сделать несколько выводов по типам растительности:

- Преобладают сосново-еловые и елово-сосновые сообщества, что говорит о сохранении естественных ландшафтов в городской среде.
- На площадке которые испытывают сильное антропогенное воздействие идет процесс вторичной сукцессии и в первый растительный ярус выходят лиственные породы деревьев (березы и осины).
 - В травяно-кустарничковом ярусе преобладают: черничники, черничники-брусничники и разнотравье.
 - Мохово-лишайниковый ярус в основном представлен зелеными мхами, что обусловлено переувлажнением в условиях северной тайги.

Третий этап – камеральная обработка полученных данных.

- 45 почвенных пробы были подготовлены и исследованы на содержание подвижных форм элементов методом атомно-эмиссионной спектрометрии в Ресурсном центре СПбГУ.

- 60 проб почвы и корки сосны были подготовлены и отправлены на определение валового содержания тяжелых металлов методом атомно-абсорбционной спектроскопии во ВСЕГЕИ.

Результатом третьего шага стала электронная база данных, в которой можно найти содержание основных тяжелых металлов в почве и корке сосны.

Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Ba, Pb, Mn, Fe – для валового содержания в корке и в почве.

Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V, Zn – для подвижных форм металлов в почве.

Четвертый этап – статистическая обработка.

Содержание элементов в почве.

Доля подвижных форм, V, Pb, Cr, Fe составляет соответственно от 0,2 % до 3% от их общего содержания. Доля подвижных форм Mn, Zn в почвах от их общего содержания достаточно велика от 10% до 21%, а доля подвижных форм Cd достигает 70%, что увеличивает их реальную токсичность, поскольку подвижная форма является лабильной и может перейти в растения.

Кларки концентраций, рассчитанные для тяжелых металлов, в большей части не превышают среднего содержания в земной коре ($K_k \ll 1$), поэтому можно предположить, что они рассеиваются в почвах Co, Zn элементы, которые превышают Кларк, $K_k \gg 1$, что указывает на региональные особенности и влиянием Zn-содержащих руд. То есть основные биогеохимические циклы на территории исследования не нарушены.

Расчёт интегральных геохимических показателей, таких как Zc и сравнение с фоном. Превышение Zc в большей мере зависит от высокого содержания кадмия, железа и марганца в некоторых образцах почв. Преимущественно в горизонте O. Это может быть связано с естественным высоким содержанием марганца и железа в почвах Карелии.

Кадмий, как правило, замещает цинк в сфалерите, а также кальций и марганец в таких широко распространенных силикатах, как биотит и амфиболы. Среди магматических пород кадмий концентрируется в основных (габбро, базальты) [22], а среди осадочных пород накапливается в тонкозернистых сланцах. В общем этот элемент склонен концентрироваться в поверхностных горизонтах почв и ассоциироваться с органическим веществом.

Превышение фона в поверхностном горизонте наблюдается по нескольким элементам Cd, Cr, Fe, Ni. Содержание железа в городских ландшафтах в 16 раз больше фоновых, хрома в 7 раз, никеля в 4 раза, и кадмия в 2 раза. Ситуация распределения элементов меняется в

горизонте В. Здесь зафиксированы превышения по Ва, Cr, Mn, Zn. Содержание кадмия больше в 44 раза, никеля в 6 раз, марганца в 5 раз, цинка в 2,5 и бария в 2 раза.

При рассмотрении содержания ТМ по удалению от источника были определены ключевые элементы превышения Fe, Mn, Zn. Их повышенное содержание обусловлено месторасположением в местах скопления транспорта, рядом с трассами и промышленными свалками. Они соответственно расположены близ ГОКа. Остальные всплески содержания ТМ находятся в городской черте рядом с ЖД путями.

Миграция элементов напрямую зависит от условий среды, так было обнаружено, что значительная часть элементов в кислых переувлажненных почвах присутствует в относительно подвижных и опасных для живого вещества формах; таковы соединения Pb, Cr, Ni, Co, Cu, Zn, Cd. Такие переувлажненные участки встречались на ЭП №21,23,29. В слабокислых и нейтральных почвах с хорошей аэрацией образуются труднорастворимые соединения Pb.

Для определения загрязнения территории были использованы гигиенические нормы ПДК[9] и ОДК[8]. Превышения ПДК по валовому содержанию ванадия, марганца и свинца наблюдается локально в паре точек, которыми являются сильно нарушенные сообщества недалеко от ГОКа близ хвостохранилища и площадка вдоль "плотины" за насыпью. По Свинцу превышения на площадке рядом с промышленной свалкой и около крупных авто и ЖД линий.

ПДК по подвижным формам. Превышение по никелю обнаружено локально. Пиковые значения относятся к поверхностному горизонту О. ЭП №30- ГОК. У здания Дирекции, на верхней части склона. Сильно нарушенное сообщество рядом с парковкой. На ЭП №29-Рядом с ЖД вокзалом. ЭП №33-в 5 км от ГОКа, так же близ трассы. Можно предположить, что данные показатели содержания зависят от внешнего фактора в виде транспорта. Выбросы активно аккумулируются и закрепляются в верхнем слое. Содержание цинка, превышающее ПДК в основном в горизонте О, так же точки отбора с повышенным содержанием цинка расположены рядом с трассой и непосредственно на берегу шламоохранилища. Повышенное содержание марганца обусловлено высоким естественным его содержанием в данных природных условиях. Так же марганцу свойственно аккумулироваться в подстилке, поэтому максимальные его содержания обнаружены в горизонте О.

Оценивая ОДК по валовому содержанию подтвердили выводы по ПДК. Повторяются локальные всплески содержания Ni и Pb. Только по цинку наблюдается частые превышения по ОДК, но это связано с низким показателем ОДК и естественным высоким фоном цинка.

Следующим компонентом исследования и статистической обработки стала зола корки сосны.

При сравнении содержания ТМ в корке сосны с Кларком по Добровольскому [16] было выявлено что ни по одному из элементов нет превышений, кроме кадмия. В отличие от других токсических элементов, кадмий легко поглощается корнями растений, поскольку находится в подвижных формах. Кадмий наиболее подвижен в кислых почвах, а для региона исследования характерны кислые почвы. Для растительного организма кадмий очень токсичен.

Миграция ТМ зависит от подвижности элементов и более подвижные элементы будут мигрировать и накапливаться в растении. Например, показатели по Cd, Mn, Fe, Zn, Ba параллельно увеличиваются в почве и в золе корки.

То какие элементы поглощаются и интенсивность этого процесса в рассеяниях можно отследить с помощью коэффициента биологического поглощения. Для сосны на изучаемой территории был построен ряд интенсивности поглощения:

$Cd > Zn > Cu > Mn > Pb > Ba > Ni > Fe > Co > V > Sc$

Сосна интенсивнее всего поглощает Cd, Zn, Cu, в то время, как её потребность в V, Fe, Co, Ni, особенно, Cr и Sc минимальна. Элементы «биологического накопления». это Cd. Другие элементы, такие как Zn, Cu, V, Fe, Co, Ni, только захватываются, а не накапливаются данным видом.

По некоторым данным можно сделать вывод что в целом в городских почвах определены низкие уровни накопления тяжелых металлов относительно регионального фона, выявлены лишь локальные загрязнения отдельными элементами. Основные ареалы концентрации тяжелых металлов (Mn, Cd, Cu, Zn, Fe) приурочены к местам скопления автотранспорта, а также несанкционированным свалкам строительного, технического и бытового мусора. Максимальные концентрации по Fe и Mn приурочены к берегу шламохранилища.

Краткая характеристика доминирующих элементов.

Кадмий (Cd) отличается подвижностью в кислых средах и более доступен для растений. Помимо антропогенного влияния, большое значение имеет содержания в материнской породе [15]. В ходе исследования поведение кадмия было подтверждено, его содержание в почвах и в растении пропорционально, но не превышает региональное содержание элемента.

Загрязнение почвенного покрова кадмием считается одним из наиболее опасных экологических явлений, так как он накапливается в растениях выше нормы даже при слабом загрязнении почвы и относится к первому класс опасности.

Цинк (Zn)

Важными факторами, влияющими на подвижность Zn в почвах, являются содержание глинистых минералов и кислотность. При повышении кислотности элемент переходит в органические комплексы и связывается почвой. С органическим веществом Zn образует устойчивые формы, поэтому в большинстве случаев он накапливается в поверхностных горизонтах почв [15]. Повышенное содержание цинка приурочено к техногенному загрязнению близ свалок промышленного мусора.

Медь (Cu)

В химическом отношении медь - малоактивный металл. Основопологающим фактором, влияющим на величину содержания Cu, является концентрация ее в почвообразующих породах [15]. Наибольшее количество меди в почве связано с содержанием железа, марганца, поэтому его повышенное содержание на территории исследования напрямую связано с большим содержанием этих элементов.

Никель (Ni)

Содержание никеля в почвах в так же зависит от обеспеченности этим элементом почвообразующих пород. Наибольшие концентрации никеля, как правило, наблюдаются в глинистых и суглинистых почвах, в почвах, сформированных на основных и вулканических породах и богатых органическим веществом [15,17]. Распределение Ni в почвенном профиле определяется содержанием органического вещества, поэтому его максимальные показатели обнаружены по горизонту O.

Марганец (Mn)

Марганец накапливается в верхних слоях почв как составляющая органических веществ. Наибольшее количество элемента содержится в кислых затопляемых грунтах. Недосток его наблюдается чаще всего на нейтральных почвах с высоким содержанием гумуса, богатых кальцием и активными микроорганизмами. Марганец образует соединения с гуминовыми веществами почв. Соединения марганца с фульвокислотами отличаются повышенной миграционной способностью и доступностью для растений [17]. Повышенное содержание марганца можно объяснить тем что на территории исследования распространены

подзолистые и дерново-подзолистые почвы с высоким содержанием фульвокислот, что создает благоприятные условия для закрепления и накопления марганца.

Железо (Fe)

Органические соединения железа легко преобразуются в почвах. При этом органическое вещество оказывает большое влияние на образование оксидов железа.

Соединения железа с органикой почвы является важным резервом доступных соединений данного металла для растений. С железом взаимодействуют гуминовые вещества, органические кислоты, сидерофоры, фенолы.

Взаимодействие железа с гуминовыми веществами сопровождается образованием водорастворимых и малорастворимых в воде соединений. На растворимость комплексов влияют многие факторы, в частности, химическая природа, соотношение компонентов, а также реакция среды. Как правило, гуминовые кислоты характеризуются большей склонностью к образованию нерастворимых соединений с металлами, чем фульвокислоты. В этой связи фульватные комплексы железа рассматривают как важный фактор, определяющий и миграцию этого металла по почвенному профилю, и его доступность растениям. Соответственно повышенное содержание железа определено его естественным высоким содержанием в почвах региона. В целом избыток закисных соединений железа отрицательно влияет на рост растений. Характерными признаками токсического воздействия железа на растения являются отсутствие некротической ткани, развитие хлороза, угнетённое состояние растений обнаружено только на сильнонарушенных экологических площадках близ ЖД путей или трасс. Там же наблюдаются повышенные содержания основных элементов [5].

Проведенное исследование показало, что на протяжении более 30 лет выбросы комбината не оказывали значимого воздействия на природные территории внутри города. Однако увеличение количества жителей привело к уплотнительной застройке, увеличение количества автотранспорта и автодорог. Это привело к увеличению интенсивности антропогенного воздействия и ухудшению оставленных при строительстве фрагментов леса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Автухович, И.Е. Металлы и древесные растения: экологические аспекты взаимодействия: дис. д-ра с.-хоз. наук: 03.00.16 / Автухович Ирина Евгеньевна. – Москва, 2006. – 462 с.
2. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987 – 142 с.
3. Бахмет О Н, Федорец Наталия Глебовна Эталонные и редкие почвы Зеленого пояса Фенноскандии // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2015. №6 (151). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/etalonnye-i-redkie-pochvy-zelenogo-poyasa-fennoskandii>
4. Виноградова А. А. Источники тяжелых металлов, накапливающихся в кустистых эпифитных лишайниках Карелии Виноградова А. А., Замберн С., Кутенков С. А., Шевченко В. П
5. Власюк П.А. Биологические элементы в жизнедеятельности растений. Издательство «Наукова Думка», Киев, 1969
6. Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И. Физическая география СССР. Азиатская часть. М., Мысль, 1978
7. Глазовская, М.А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям, М-1997 – 102 с.
8. ГН 2.1.7.2041-06 Ориентировочно допустимые концентрации.
9. ГН 2.2.5.686-98 Предельно допустимые концентрации.
10. ГОСТ 12.1.007-76 "Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности"
11. ГОСТ 17.4.3.01-83 Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к отбору проб
12. ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества
13. Дедю И. И. [Предисл. В. Д. Федорова]. Экологический энциклопедический словарь - Кишинев: Гл. ред. Молд. сов. энцикл., 1989. - 406 с
14. Ерохина И.С. Город Костомукша – «город в лесу» Гармония Севера: взгляд молодых: материалы международной научно-практической конференции (25-26 ноября 2010 г.). – Петрозаводск, 2010. – С. 53.
15. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: Перевод с английского.– М.: Мир, 1989.– 439 с., ил
16. Касимов Н.С., Д.В. Власов кларки химических элементов как эталоны сравнений экогеохимии– 20 с.

17. Каталымов М.В. Микроэлементы и микроудобрения.– М.: Издательство «Химия», 1965.– 332 с
18. Кравченко А.В., Гнатюк Е.П., Крышень А.М. Основные тенденции формирования флоры молодого таежного города (на примере г. Костомукши, Республика Карелия) // Труды КарНЦ РАН. 2003. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnyie-tendentsii-formirovaniya-flory-molodogo-taezhnogo-goroda-na-primere-g-kostomukshi-respublika-kareliya>
19. Медведева М.В., Федорец Н.Г., Яковлев А.С., Савельев Л.Л. Экологическая оценка почв техногенных зон урбанизированных территорий // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2014. №1 (50). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-otsenka-pochv-tehnogennyh-zon-urbanizirovannyh-territoriy> (дата обращения: 01.05.2019). КиберЛенинка:<https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-otsenka-pochv-tehnogennyh-zon-urbanizirovannyh-territoriy>
20. Новиков С. Г. Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв различных категорий землепользования на территории города Петрозаводска // Труды КарНЦ РАН. 2015. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-zagryazneniya-tyazhelymi-metallami-pochv-razlichnyh-kategoriy-zemlepolzovaniya-na-territorii-goroda-petrozavodska> (дата обращения: 05.02.2019)
21. Новиков С.Г. Содержание тяжелых металлов в почвах города Костомукши Новиков С.Г., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук, Карельский научный центр РАН, Петрозаводск. Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 5
22. Опекунова М. Г., Гизетдинова Марина Юрьевна Использование лишайников в качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2014. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-lishaynikov-v-kachestve-bioindikatorov-zagryazneniya-okruzhayushey-sredy>
23. Реймерс Н.Ф. Азбука природы. Микроэнциклопедия биосферы. М.: "Знание", 1980 – 207 с.
24. Рыкова Т.В., Мартынюк А.А. Обоснование допустимых выпадений тяжелых металлов на сосновые экосистемы в полевом эксперименте // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2016. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-dopustimyh-vypadeniy-tyazhelyh-metallor-na-sosnovye-ekosistemy-v-polevom-eksperimente>
25. Сунгатуллин Р. Х., Сунгатуллина Г. М., Хазиев М. И. Биогеохимические исследования при изучении геологического пространства // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2009. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biogeohimicheskie-issledovaniya-pri-izuchenii-geologicheskogo-prostranstva> (дата обращения: 17.09.2018) КиберЛенинка:

<https://cyberleninka.ru/article/n/biogeohimicheskie-issledovaniya-pri-izuchenii-geologicheskogo-prostranstva>

26. Сухарева, Т.А. Макро- и микроэлементы в хвое ели сибирской (*Picea Obovata* Ledeb.) в условиях аэротехногенного загрязнения на Кольском полуострове / Т.А. Сухарева // Кольский полуостров на пороге третьего тысячелетия: проблемы экологии. – Апатиты: КНИЦ РАН, 2003. – С. 151–158.

27. Узаков З.З. Тяжелые металлы и их влияние на растения // Символ науки. 2018. №1-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tyazhelye-metally-i-ih-vliyanie-na-rasteniya> (дата обращения: 05.03.2019). Узаков З.

28. Федорец Н. Г., Морозова Р. М., Бахмет О. Н. Почвы и почвенный покров Заонежья Карелии // Труды КарНЦ РАН. 2004. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pochvy-i-pochvennyu-pokrov-zaonezhya-karelii> (дата обращения: 30.02.2019)

КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/pochvy-i-pochvennyu-pokrov-zaonezhya-karelii>

29. Федорец Н.Г. Влияние Костомукшского горнодобывающего комплекса на почвы прилегающих территорий, Ученые записки Петрозаводского Государственного Университета, Декабрь, № 8, 2016

30. Черненькова Т. В. Закономерности аккумуляции тяжелых металлов сосной обыкновенной в фоновых и техногенных лесоведение, 2004, № 2, с. 25-35 УДК 630*581.5

31. Чмыхалова С. В., Сметанин А. И. Анализ основных источников загрязнения окружающей среды в условиях ОАО Карельский окатыш // ГИАБ. 1999. №8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-osnovnyh-istochnikov-zagryazneniya-okruzhayuschey-sredy-v-usloviyah-oao-karelskiy-okatysh>

32. Щербенко, Т.А. Поглощение элементов сосной и елью в лесных экосистемах северной тайги в условиях атмосферного загрязнения: автореф. дис. канд. биол. наук / Т.А. Щербенко. – М. : МГУ, 2008.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Дата работы	Координаты	Привязка	Сообщество	Пробы почв	Пробы корки
24.06.2018	N 64°36'40,8'' E 30°37'11,3''	Город Костомукша Возле ж/д станции. Узкая полоса лесного участка между 2-х ЛЭП	Сосново-берёзовое чернично-зеленомошное сообщество	27 28	14
"	N 64°36'20,3'' E 30°36'26,4''	Город Костомукша Между Приграничным шоссе и ул.Мира, напротив ж/д вокзала	Елово-сосновое чернично-зеленомошное сообщество	29 30	15
"	N 64°36'11,3'' E 30°34'49,4''	Город Костомукша 1 км к С по Приграничному шоссе от перекрестка с ул.Мира, 75 м к 3 от края шоссе	Елово-сосновое чернично-бруснично-зеленомошное сообщество	31 32	16
"	N 64°35'48,6'' E 30°35'10,4''	Город Костомукша Склон Сев.экспозиции (средняя часть) от ул.Мира к оз.Контокки	Елово-сосновое чернично-зеленомошное сообщество	33 34	17
"	N 64°35'34,2'' E 30°35'48,8''	Город Костомукша Ул.Первооткрывателя й. Средняя часть склона Северной экспозиции	Сосново-еловое чернично-зеленомошное сообщество	35 36	18
"	N 64°35'12'' E 30°35'54,8''	Город Костомукша Дворовая территория. Угол ул.Интернационально й и ул.Ленина	Сосновое разнотравное кустарничковое сообщество (сильнонарушенное)	37 38	19
"	N 64°35'02,5'' E 30°34'57,1''	Город Костомукша Лесной переувлажненный участок (терраса оз.Контокки) за Аквапарком	Березово-сосновое голубично-чернично-политрихово-сфагновое сообщество	39 40	20
25.06.2018	N 64°36'00,8'' E 30°38'41,4''	Город Костомукша Приграничное шоссе (в сторону Сегежи) 605 м от перекрестка с просп.Горняков, 50 м на СВ от шоссе.	Березово-сосновое чернично-бруснично-зеленомошное сообщество	41 42	21

		Склон СВ экспозиции, участок между 2 ЛЭП			
"	N 64°35'51,3'' E 30°37'03,2''	Город Костомукша Просп.Горняков, 1100 м от перекрестка с Приграничным шоссе (в сторону центра Костомукши), 30 м на В от просп. Нижняя часть склона В экспозиции. Узкая полоса ельника (6-7 м в ширину), далее переходит в болотину (+хвощ, +сфагнум)	Сосново-еловое чернично- бруснично- зеленомошное сообщество	43 44	22
"	N 64°35'16,2'' E 30°34'42''	Город Костомукша Конец Вербной ул., д.16, 200 м в лес. Пологий склон Ю экспозиции.	Сосново-еловое чернично- зеленомошное сообщество	45 46	23
"	N 64°35'10,1'' E 30°37'08,6''	Город Костомукша Ул. Северная, напротив д.27. Остаток природного сообщества. Сильное антропогенное нарушение - тропы, кострица, рубка, мусор, горелый участок. Склон В экспозиции	Сосновое чернично- бруснично- зеленомошное сообщество	47 48	24
"	N 64°34'55,6'' E 30°36'46,3''	Город Костомукша Ул. Ленинградская, за д. 4 (дворовая территория). Остаток природного сообщества.	Сосновое разнотравно- злакове сообщество (сильнонарушенное) ПМЛ <5%	49 50	25
"	N 64°34'37,1'' E 30°35'31''	Город Костомукша Ул. Снежная, возле маленького озера. Площадка расположена между улицей и оз.Контолки. Сосняк молодой - около 40 лет	Сосновое черничное сообщество	51 52	26

26.06.2018	N 64°42'05,5'' E 30°53'37,9''	Город Костомукша, ГОК. Хвостохранилище. Площадка вдоль "плотины" за насыпью. Сильно нарушенное сообщество Озерная терраса (?)	Березово-ольховое крупнотравное сообщество	53 54	-
"	N 64°41'00,1'' E 30°46'16,0''	Город Костомукша, ГОК. Площадка вблизи отвалов и дороги на Вокнаволок. Сильно нарушенное сообщество, фрагментарно сохранившийся лесной участок к СВ от отвалов, рядом старая дорога.	Березняк хвощево- черничный	55 56	-
"	N 64°39'04,9'' E 30°45'46''	Город Костомукша, ГОК. У здания Дирекции. Верхняя часть склона СВ экспозиции. Сильно нарушенное сообщество. Все стволы покрыты коричневым налетом (пульпа?). Мхи только на отдельных высоких участках (замшелые валуны, приствольные кочки)	Осиново- березовое с ольхой разнотравное сообщество	57 58	-
"	N 64°38'17,2'' E 30°45'39,1''	Город Костомукша, ГОК. Рядом с ж/д переездом перед Костомукша-товарная	Сосново-еловое с березой осоково- кустарничково- сфагновое сообщество	59 60	27
"	N 64°37'50,1'' E 30°43'05,5''	Город Костомукша, "ГОК". В 1200 м от поворота (развилки) у ГОКа в сторону города. Переувлажненное сообщество	Березово-сосновое хвощево- зеленомошное сообщество	61 62	28

"	N 64°37'14,5'' E 30°40'25''	Город Костомукша, "ГОК". В 5 км от поворота (развилки) у ГОКа в сторону города. Средняя часть склона Ю экспозиции, выположенная площадка. Рядом знак ГОК	Елово-сосновое вейниково- кустарничково- зеленомошное сообщество	63 64	29
27.06.2018	N 64°37'17,4'' E 30°40'27,2''	Профиль с почвенными разрезами. Первая площадка - вершина моренного холма в 150-200 м от ЭП 33. Рядом стройка (срубы), старая просека.	Елово-сосновое чернично- бруснично- зеленомошное сообщество	65 66 67 68	30
"	N 64°37'24'' E 30°40'31,6''	Профиль с почвенными разрезами. Вторая площадка - нижняя часть склона моренного холма С- СЗ экспозиции в 225 м от ЭП 34-1 по А=340°. Рядом старая просека. Много пней, поваленных деревьев. А на ЭП 34-3 = 10°	Березово-еловое чернично- зеленомошное сообщество	69 70 71	-
"		Профиль с почвенными разрезами. Третья площадка - подножье часть склона моренного холма С-СЗ экспозиции в 40 м от ЭП 34-2, в 15 м от ж/д. Рядом старая просека (примерно 40 лет) и участки выемки грунта для насыпи ж/д. Сильно нарушенный участок.	Сосново-березовое чернично- хвоцево- политрихово- сфагновое сообщество	72 73 74	31
"	N 64°34'22,4'' E 30°34'33,5''	Город Костомукша. Ул. Снежная, 310 м от входа в комплекс Заповедника в сторону поселка Контоikki	Сосновое кустарничково- зеленомошное сообщество	75 76	32

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Индексы: п-подвижные формы, в-валовое содержание, к-содержание в корке.
Критическое значение корреляции = 0,29. Уровень значимости $p=0,05$.

Корреляционная зависимость валового содержания в почве и в корке сосны.

	Ва в	Ва к	Сд в	Сд к	Со в	Со к	Ср в	Ср к	Сш в	Сш к	Fe в	Fe к	Mn в	Mn к	Ni в	Ni к	Pb в	Pb к	V в	V к	Zn в	Zn к	
Ва в	1,00																						
Ва к	-0,12	1,00																					
Сд в	-0,53	0,12	1,00																				
Сд к	-0,03	0,29	0,30	1,00																			
Со в	0,33	-0,13	0,24	0,32	1,00																		
Со к	0,18	-0,13	-0,06	-0,02	0,35	1,00																	
Ср в	0,43	-0,10	-0,62	-0,17	0,08	0,07	1,00																
Ср к	0,14	-0,02	-0,13	-0,05	0,18	0,94	0,07	1,00															
Сш в	-0,39	-0,18	0,33	0,05	0,12	0,07	-0,29	-0,01	1,00														
Сш к	0,08	0,01	-0,08	-0,07	0,02	0,58	-0,02	0,55	0,05	1,00													
Fe в	-0,10	-0,17	0,14	0,39	0,58	0,44	0,15	0,22	0,24	-0,03	1,00												
Fe к	0,11	-0,24	-0,13	-0,32	0,29	0,81	0,12	0,84	0,15	0,58	0,35	1,00											
Mn в	0,27	-0,11	0,30	0,34	0,99	0,33	-0,01	0,16	0,14	0,00	0,56	0,27	1,00										
Mn к	-0,11	0,13	0,28	0,78	0,41	0,19	0,06	0,01	0,12	-0,08	0,54	-0,07	0,43	1,00									
Ni в	0,21	-0,16	0,25	0,32	0,97	0,37	0,13	0,19	0,18	0,00	0,70	0,32	0,96	0,43	1,00								
Ni к	0,15	-0,27	-0,10	-0,24	0,36	0,85	0,13	0,85	0,12	0,45	0,47	0,95	0,34	0,02	0,41	1,00							
Pb в	-0,17	0,40	0,14	0,18	-0,03	-0,02	-0,17	-0,01	0,18	0,05	-0,11	-0,13	-0,02	0,08	-0,02	0,13	1,00						
Pb к	0,03	0,35	-0,03	0,35	-0,20	-0,18	-0,10	-0,08	-0,25	-0,02	-0,24	-0,46	-0,19	0,07	-0,22	-0,32	0,21	1,00					
V в	0,38	-0,11	-0,41	0,07	0,31	0,25	0,77	0,15	0,18	-0,03	0,53	0,22	0,22	0,24	0,35	0,29	-0,22	-0,21	1,00				
V к	0,13	-0,22	-0,15	-0,37	0,23	0,76	0,13	0,83	0,05	0,42	0,30	0,94	0,21	-0,14	0,27	0,96	-0,17	-0,31	0,23	1,00			
Zn в	-0,28	0,10	0,58	0,06	0,18	0,12	-0,41	0,00	0,61	-0,01	0,12	-0,02	0,22	0,20	0,18	0,01	0,17	-0,13	-0,20	0,07	1,00		
Zn к	0,07	0,10	0,07	0,61	0,15	0,35	-0,06	0,30	-0,02	0,28	0,16	-0,09	0,16	0,52	0,14	0,00	0,15	0,58	-0,03	-0,15	0,05	1,00	