

Санкт-Петербургский Государственный Университет

**ПАЙКОВА Валерия Радековна**

**Выпускная квалификационная работа**

**Геоэкологическая оценка воздействия предприятия по добыче и переработке  
фосфатного сырья на компоненты природной среды**

Уровень образования: бакалавриат

Направление 05.03.06 «Экология и природопользование»

Основная образовательная программа СВ.5024.2019 «Экология и природопользование»

Научный руководитель:

Доцент кафедры геоэкологии,

кандидат географических наук

Елсукова Екатерина Юрьевна

Рецензент:

младший научный сотрудник

СПбНИИЛХ

Недбаев Иван Сергеевич

Санкт – Петербург

2023

## Содержание

Введение.....	3
Глава 1. Физико-географическое описание территории.....	5
1.1. Геология и рельеф.....	5
1.2. Климат.....	7
1.3. Гидрология .....	8
1.4. Почвы.....	9
1.4.1. Почвы на территории Кингисеппского района Ленинградской области .....	9
1.4.2. Почвы на территории ООО «ПГ «Фосфорит»» .....	10
1.5. Растительность .....	13
Глава 2. Методы исследования .....	15
2.1. Определение содержания макроэлементов в почве .....	15
2.2. Определение содержания подвижных форм тяжелых металлов в почве.....	16
Глава 3. Характеристика источника загрязнения .....	19
3.1. О предприятии ООО «ПГ «Фосфорит»».....	19
3.2. Сбросы и отходы предприятия «Фосфорит» .....	21
Глава 4. Воздействие на компоненты природной среды в районе добычи и переработки фосфорных удобрений .....	23
4.1. Влияние предприятия по производству фосфорных удобрений на атмосферу .....	23
4.2. Влияние предприятия по производству фосфорных удобрений на природные воды .....	23
4.3. Влияние предприятия по производству фосфорных удобрений на почвенный покров .....	24
4.3.1. Влияние предприятия по производству фосфорных удобрений на pH почвы .....	25
4.3.2. Влияние предприятия по производству фосфорных удобрений на содержание в почве подвижных форм тяжелых металлов.....	26
4.3.3. Влияние предприятия по производству фосфорных удобрений на содержание макроэлементов в почве .....	38
4.4. Влияние предприятия по производству фосфорных удобрений на растения .....	46
Заключение.....	48
Литература .....	50
Приложение.....	56

## Введение

В настоящее время в связи с увеличивающейся антропогенной нагрузкой важно оценить экологическое состояние природной среды. Природная среда – совокупность компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов. Так, к компонентам природной среды относятся земля, недра, почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный, животный мир и иные организмы (№7-ФЗ «Об охране окружающей среды»). Все они связаны друг с другом, и на каждый оказывается то или иное антропогенное воздействие. Происходит загрязнение поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха, почвы, наблюдаются различные ландшафтно – деструктивные нарушения.

Одним из важных компонентов природной среды является почва, она обладает важным свойством – плодородием. Загрязнение и нарушение почвы разными источниками влияет на него. Состояние почвы непосредственно влияет на растения, произрастающие на ней, а также на животных. Так как состояние почвенного покрова влияет на растения, то есть и на урожайность, то это непосредственно влияет на качество пищи для человека и кормов для животных. Химический состав почвенного покрова оказывает влияние на подземные и поверхностные воды. На подземные воды в результате инфильтрации, на поверхностные – за счет подземных вод, которые являются источниками питания для водоема или водотока, а также непосредственно за счет поверхностного стока. В итоге, при попадании загрязняющих веществ в почву, происходит загрязнение природных вод. На газовый состав атмосферы почва может оказывать прямое воздействие путем газообмена с атмосферой напрямую.

При изучении воздействия предприятия (ООО «ПГ «Фосфорит») по производству фосфорных минеральных удобрений в непосредственном месте добычи исходного сырья рассматривается влияние разных типов отходов на состояние природных сред: атмосферу (степень загрязнения воздуха в приземное слое), гидросферу (состояние подземных вод и поверхностных), литосферу (деформации в земной коре) и биосферу (состояние растительного покрова в целом). Соответственно, мы оцениваем влияние и на почвенный покров, который непосредственно влияет на состояние природных вод, газового состава атмосферы, а также на рост и развитие растительного покрова. Наибольшее влияние на состояние природной среды оказывает отвал фосфогипса, производство которого в настоящее время составляет более 100–280 млн т/год (Pérez-López R., 2010).

Чтобы сделать оценку состояния почвенного покрова, необходимо определить содержание макроэлементов, а также подвижное содержание тяжелых металлов (ТМ) в

почве, величину рН. Для этого применяются специальные методики. Далее провести оценку по таким параметрам, как среднее содержание ТМ и макроэлементов на разных типах территории (условно-фоновой, техногенные объекты, рекультивируемые территории), их минимальное и максимальное значения, изменение содержания их в почве в зависимости от удаленности от объекта воздействия, а также по почвенному профилю. Значения содержания ТМ и макроэлементов в почве необходимо сравнить с фоновым содержанием исследуемых элементов, а также с их значением ПДК (ОДК) в соответствии с СанПин 1.2.3685 – 21.

Цель работы: дать геоэкологическую оценку воздействия предприятия по добыче и переработке фосфатного сырья на компоненты природной среды.

Задачи:

1. Дать физико-географическую характеристику района исследования;
2. Охарактеризовать источник загрязнения;
3. Изучить влияние предприятий по производству фосфорных удобрений на экологическое состояние компонентов природной среды территории;
4. Определить содержание подвижных форм тяжелых металлов и макроэлементов в почве, обработать полученные результаты;
5. Дать оценку воздействия предприятия на компоненты природной среды.

Объект исследования: компоненты природной среды в зоне воздействия предприятия по добыче и переработке фосфатного сырья.

Предмет исследования: экологическое состояние компонентов природной среды в зоне воздействия предприятия по добыче и переработке фосфатного сырья.

Выражаю благодарность Ресурсному центру Научного Парка СПбГУ «Методы анализа состава вещества» за получение возможности провести измерения для исследования содержания подвижных форм тяжелых металлов в пробах почвы.

## Глава 1. Физико-географическое описание территории

Предприятие ООО «ПГ «Фосфорит», которое является объектом воздействия на компоненты природной среды, находится в юго-западной части Ленинградской области, в Кингисеппском районе, в Большелуцком сельском поселении (рис. 1).

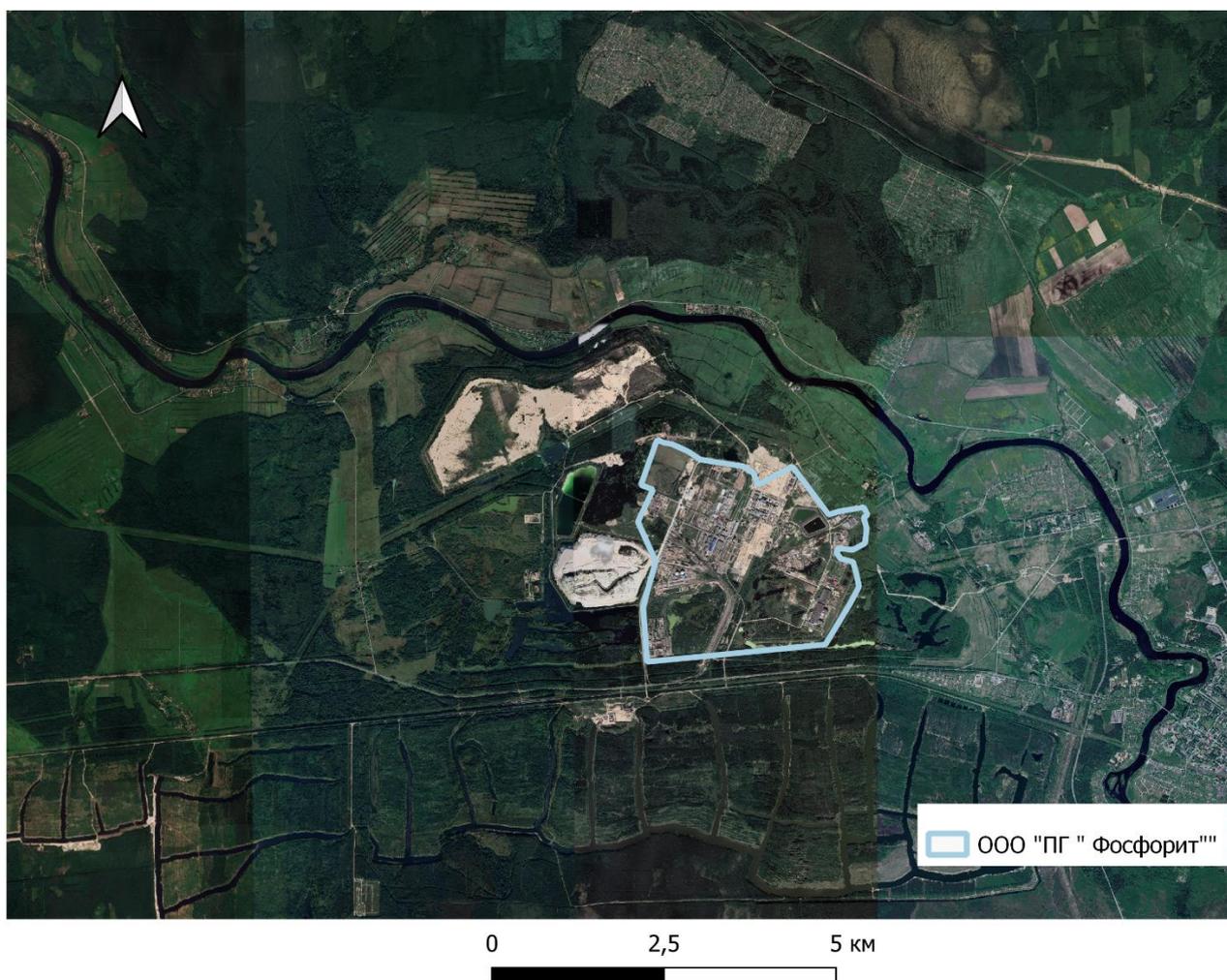


Рисунок 1 . Спутниковый снимок района воздействия ООО «ПГ «Фосфорит»»

### 1.1. Геология и рельеф

Район расположен на Ордовийском плато, по периферии - вводно ледниковый полого - волнистый рельеф. До обработки месторождений поверхность представляла собой расчлененную равнину в междуречье Луги и Нарвы, которая разделена Балтийско-Ладожским глинтотом. На отдельных участках на равнине присутствуют озы и камы (Векшин, 2019).

Положительные формы рельефа состоят из гряд и холмов, возвышающихся отвалов фосфогипса, насыпных и намывных дамб шламонакопителя, хвостохранилищ. Отрицательные формы рельефа: разрезные траншеи карьеров, котлованы, дренажные канавы. Минимальные отметки 11-13 метров. Абсолютные отметки земли промышленной площадки от 0 до 15 метров, до 25-35 в местах хранения отходов (Векшин, 2019). Геологическое строение характеризуется платформенным разрезом, где выделяются два геоструктурных этажа:

- 1) Кристаллический фундамент архейско-нижнепротерозойского возраста;
- 2) Чехол из осадочно-метаморфизированных и осадочных пород верхнепротерозойского, кембро- ордовикского и четвертичного возрастов (Векшин, 2019).

Ленинградская область находится в пределах Восточно-Европейской платформы, которая является древней, на северо-западной окраине Русской плиты (Нестеров, Соломин, 2006). Осадочный чехол ее сложен породами, которые сформировались на дне мелководных морей, озерными, речными и ледниковыми осадками, которые формировались в континентальных условиях, также погребенными почвами и древними корами выветривания. Основание чехла: серо-цветные глинистые породы, которые возникли в верхнем протерозое, над ними находятся породы, сформировавшиеся в нижнем кембрийском периоде. В обоих сохранились остатки обитателей морского дна-бентоса (Геологическое строение ..., 2020).

В основе палеозойских отложений лежат синие кембрийские глины мощностью до 90 метров. Их можно наблюдать в обнажениях реки Луги. На них залегают и ижорские пески, и песчаники с прослоями линзами глин верхнекембрийского возраста. Далее залегают оболочные пески и песчаники, имеющие мощность до 7 метров. Именно с ними связаны крупнейшие месторождения фосфоритов. Для ордовийских отложений характерны глауконитовые песчаники, известняки, доломитизированные плитчатые с прослоями песков и глин, которые выходят на поверхность в пределах Ордовийского плато и представляют собой плоскую возвышенную равнину. Девонские отложения представлены песками и песчаниками разной окраски и слоистости, мощность достигает до 100 метров. На палеозойских отложениях Кайнозойской эры залегают четвертичные отложения, которые связаны с материковым оледенением, представлены моренными супесями и суглинками, ленточными глинами (Нестеров, Соломин, 2006), аллювиальными песками, торфом. Ленточные глины – это тонкое переслаивание глин с песками - распространены вдоль берега реки Луги, как и аллювиальные образования, распространенные в ее долине и по ее притокам, представленные илами, супесями, суглинками и тонкими пылеватыми

песками с большим содержанием органических остатков. Для торфяных отложений характерно распространение в пойме реки, а также в районе обширного болотного массива «Пятницкий мох», который расположен на юге территории, мощность торфа в отложениях составляет до 3-8 метров (Векшин, 2019).

## 1.2. Климат

Кингисеппский район находится в умеренном поясе, в области умеренно-континентального климата смешанных лесов и лесостепей с достаточным увлажнением. Наибольшая средняя температура воздуха наблюдается в июле и равна 18,2 °С, наименьшая - 5,2 °С в феврале. Абсолютный минимум был достигнут в декабре 1978 г. и феврале 1966 г и был равен - 40 °С, а абсолютный максимум - 35 °С в августе 1963 г. Среднегодовая температура равна 5,9 °С. Повышение температуры выше 0 °С происходит в марте-апреле, понижение ниже 0 °С - в ноябре-декабре.

Наибольшее количество осадков составляет 95 мм в августе, наименьшее – 39 мм в апреле. За год количество осадков равно 728 мм. Суточный максимум был зафиксирован в июне 2020 года и составил 79 мм. Месячный минимум 0,9 мм был установлен в ноябре 1993 года, а месячный максимум 230 мм - в августе 2016 года. Осадки в виде снега наблюдаются с сентября по март. Смешанные осадки выпадают во все месяцы кроме июля и августа. Жидкие осадки можно наблюдать в течение всего года (Погода и климат...).

Наибольшая высота снежного покрова составляет 33,6 см с длительностью залегания до 110 дней и наибольшей мощностью в конце февраля – начале марта. Начало снеготаяния приходится на конец марта и продолжается около 10-15 дней, запас воды в снежном покрове от 77 до 86 мм. Промерзание почвы в феврале – марте может достигать до 125 см. На возвышенных участках, которые свободны от снега, глубина промерзания увеличивается как минимум вдвое (Гидрогеология СССР, 1967).

Наибольшая средняя скорость ветра равна 2,6 м/с в январе, ноябре и декабре, наименьшая 1,8 м/с - в августе. Средняя скорость ветра равна 2,3 м/с. Для зимнего периода характерно преобладание юго-восточного и южного ветра, для марта и апреля – юго-восточного, в мае и июне - северно-западного, для июля - южного, для августа- южного, юго- западного и западного направлений ветра. Для осеннего периода характерно южное и юг-восточное направлений ветра. В году преобладает южный, юго-западный и юго-восточный ветер, что видно на розе ветров (рис. 2) (Погода и климат...).

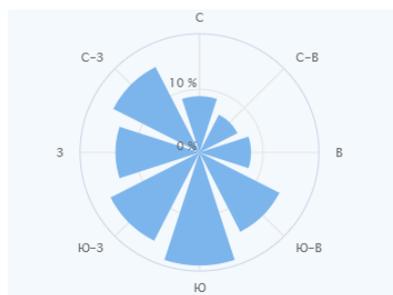


Рисунок 2. Роза ветров в Кингисеппском районе (World Weather...)

Средняя влажность воздуха за год составляет 80%, наибольшая средняя влажность 88% наблюдается в ноябре и декабре, наименьшая – 67% в мае. Общая облачность за год равна 7,1 балл, наибольшая 8,5 баллов отмечается в ноябре и декабре, наименьшая – 6 баллов в мае. Средняя нижняя облачность за год составляет 5,2 балла, наибольшая 7,5 баллов установлена в ноябре и декабре, наименьшая – 3,6 баллов в июле. В году преобладают число облачных дней по общей и нижней облачности.

Из явлений погоды преобладают дождь (163 дня за год в течение всего года) и снег – 111 дней за год в течение всего года кроме июля и августа, в июне зафиксировано 0,1 дня, самое редкое явление – мгла – 0,4 дня за год с апреля по июль и в сентябре (Погода и климат...).

### 1.3. Гидрология

На территории Кингисеппского района расположена развитая гидрографическая сеть, которая принадлежит бассейну Балтийского моря. Основными реками являются: Навра, Луга, Систа, Россонь. Луга впадает в Лужскую губу Финского залива, соединена с рекой Нарвой притоком р. Россонь, который является довольно уникальным, так как в половодье на реке Луге он течет в реку Нарву, при высокой воде в реке Нарве течение меняется в обратную сторону (Концепция социально-экономического..., 2007).

Протяженность реки Луги 353 км, она берет начало в Тесово-Нетельском болоте, пойма реки имеет множество заливов и стариц. Река Систа берет начало из Коростовицкого озера на Ижорской возвышенности, впадает в Финский залив, имеет крутые берега, течение реки интенсивное, вода имеет мутный оттенок из-за залежей известняка, длина реки 64 км (Реки Ленинградской области...). Нарва является короткой рекой, по которой вода сбрасывается из бассейна Чудско-Псковского озера в Нарвскую губу, начало реки находится в северо-восточной части Чудского озера, длина реки 77 км, питание реки смешанное, с преобладанием снегового (Вода России...). Промышленная зона «Фосфорит» находится на левом берегу реки Луги. Также здесь можно наблюдать заливов и старицы

реки. В границах района имеется 11 озер, наиболее крупные из них: Копанское, Липовское, Белое, Глубокое, Бабинское, Хаболовское (Концепция социально-экономического развития..., 2007).

## **1.4. Почвы**

### **1.4.1. Почвы на территории Кингисеппского района Ленинградской области**

На территории Кингисеппского района Ленинградской области можно обнаружить следующие типы почв: слабо и среднеподзолистые на северо-западе района, дерново-карбонатные в центральной и северо-восточной частях, болотные и торфяные, которые расположены на юге региона, дерново-подзолистые, занимающие наибольшую часть территории района и находятся в центральной и южной частях.

#### **Подзолистые O-EL-BEL-BT-C**

Относятся к Постлитогенному стволу, отделу «Текстурно – дифференцированные почвы». Диагностируются в рамках отдела по сочетанию элювиального и текстурного горизонтов. Гумусовый горизонт отсутствует. На поверхности залегает маломощный подстильно-торфяной горизонт (3-10 см), под которым может наблюдаться прослойка грубого гумуса или перегноя. Горизонт EL имеет белесую или палевую окраску, а иногда сероватый или сизоватый оттенок, тонкоплитчатую или чешуйчатую структуру, приурочены ЖМК (Fe-Mn конкреции). Горизонт BEL (субэлювиальный) представляет собой зону элювиальной деградации верхней части горизонта BT, имеет неоднородную окраску (сочетание светлых и бурых фрагментов). Текстурный горизонт BT имеет бурый цвет, ореховато-призматическую структуру, наблюдаются признаки иллювиирования в виде глинистых и железистых кутан. Для подзолистых почв характерна сильноокислая или кислая реакция (Классификация почв России).

#### **Дерново-карбонатные O-AO-Aca-BScar-Cscar-Dca**

Формируются на карбонатных породах в таежно-лесной зоне. Имеют мощность от 10 до 50 см. Горизонт O (подстилка) имеет мощность от 1 до 5 см (Почвенно-географическая база...), далее следует грубогумусовый горизонт AO с мощностью до 10 см, имеющий темно-бурый или темно-коричневый цвет, кислую или слабокислую реакцию (Классификация почв России). Далее выделяется гумусовый горизонт Aca, имеющий темный цвет, зернистую структуру, обломки карбонатных пород с размером от 5 до 15 см. BScar - переходный горизонт, имеющий мощность от 5 до 40 см, серовато-бурый цвет, зернисто-комковатую структуру, сильно щебнистый, может быть выражен фрагментно или

замещен горизонтом АС. Ссар -почвообразующая порода - элювий карбонатных пород, который слабо изменен почвообразованием (Почвенно-географическая база...).

#### Торфяные почвы

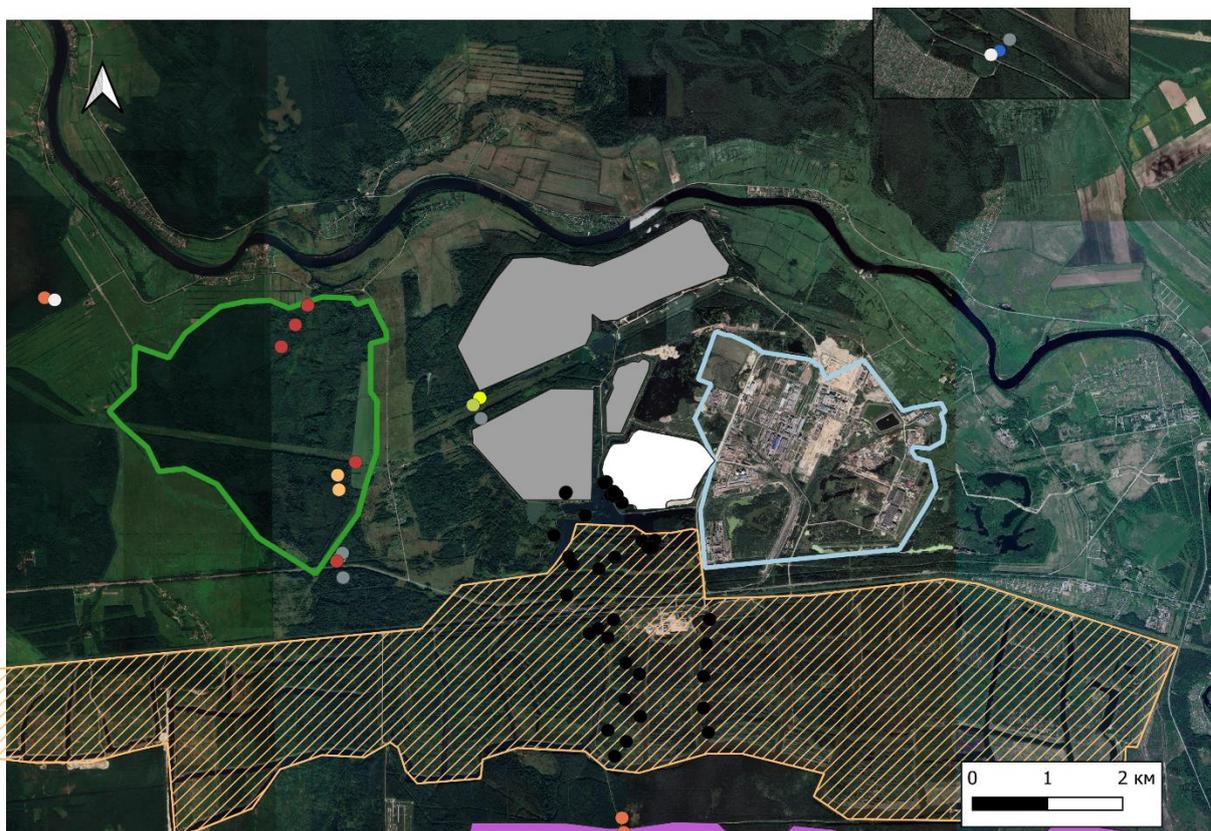
Относятся к стволу «Органогенные», отделу «Торфяные». Почвы характеризуются поверхностным торфяным горизонтом Т различного состава, который сменяется органогенной породой. Мощность торфяной толщи превышает 50 см, а также может достигать нескольких метров. Состав торфа также представлен разным составом. (Классификация почв России).

#### Дерново-подзолистые АУ-ЕL-BEЛ-ВТ-С

Относятся к стволу «Постлютогенные», отделу «Текстурно – дифференцированные». Диагностируются по наличию обособленного серогумусового (дернового) аккумулятивного горизонта АУ, элювиального горизонта ЕL, который через переходный субэлювиальный горизонт BEЛ сменяется текстурным ВТ. Горизонт АУ имеет мощность от 5 до 8 см, серый цвет, непрочную мелкокомковатую или порошистую структуру. Постепенно краски переходит в элювиальный горизонт через осветление. Горизонт ЕL имеет мощность от 10 до 50 см и светлые палевые тона. Горизонт BEЛ имеет светлые и бурые оттенки цвета, иногда встречаются темные фрагменты, различающиеся по сложению, гранулометрическому составу и структуре. Горизонт ВТ имеет бурый цвет часто с желтоватым или красноватым оттенком, многопорядковую структуру, является наиболее плотным в профиле, в нем выражены признаки иллювиирования глинистого и тонкопылеватого вещества. Реакция почв чаще всего кислая по всему профилю, но возможна нейтральная в нижней, иногда в средней частях профиля при наличии унаследованных карбонатов (Классификация почв России).

#### 1.4.2. Почвы на территории ООО «ПГ «Фосфорит»»

На исследованной территории представлены следующие типы почв: агрозем альфегумусовый глеевый, глеезем серогумусовый, дерново-подбур, дерново-подбур-иллювиально-железистый, дерново-подзолистая, литозем серогумусовый, олиготрофно-торфяная, перегнойно-глеевая, подбур иллювиально – гумусовый глеевый, торфяная и реплантозем. На карте (рис. 3) указано расположение данных видов почв на территории.



Легенда	
<b>Почвы</b>	<b>Тип объекта</b>
● глеезем серогумусовый	● подбур иллювиально-гумусовый глеевый
● дерново-подбур	● торфяная
● дерново-подбур-иллювиально - железистый	■ условно-фоновая территория
● литозем серогумусовый	■ болото Пятницкий мох
● олиготрофно-торфяная почва	■ производственные объекты
● перегнойно-глеевая почва	■ отвал фосфогипса
● реплантозем	■ рекультивированный отвал вскрышной породы

Рисунок 3. Расположение типов почв на исследованной территории

### Агрозем альфегумусовый глеевый P-BH-G-CG

Почвенный профиль состоит из агрогумусового P, альфегумусового BH и глеевого G горизонтов. Горизонт BH представлен преимущественно иллювиально-гумусовой модификацией, имеет морфохроматические признаки оглеения. Агрозо́мы альфегумусовые глеевые сформированы в результате агрогенного преобразования подзолов глеевых и дерново-подзолов глеевых, подбуров глеевых и дерново-подбуров глеевых (Классификация почв России). Почвы имеют нейтральную реакцию, расположены на речной террасе лесной экосистемы (условно-фоновая территория) на пластичных глинах с прослоями алевролитов на расстоянии 1900 метров от отвала фосфогипса.

### Глеезем серогумусовый AY-G-CG

Глеевый горизонт G имеет яркий голубой цвет, часто оторочен охристой каймой, расположенной в верхней, а иногда и в нижней части горизонта. Возможно осветление верхней части минеральной толщи. Наиболее мобильным компонентом химического

состава являются соединения железа, которые могут образовывать локальные аккумуляции. Для профиля глеезёмов характерна кислая или слабокислая реакция, в случае карбонатных пород возможна нейтральная или слабощелочная реакция (Классификация почв России). Почвы расположены на речной террасе в лесной экосистеме (условно-фоновая территория) на пластичных глинах с прослоями алевролитов, на глинах и алевролитах, на песках, песчаниках, аргиллитах и глинах на расстоянии от 4 до 4,5 км от отвала фосфогипса.

#### Дерново-подбур АУ-ВНФ-С

Серогумусовый горизонт АУ залегает на альфегумусовом ВНФ, постепенно переходящим в почвообразующую породу. Горизонт АУ имеет мощность от 10 до 15 см. Горизонт ВНФ имеет желто-бурый цвет, представлен иллювиально – железистой модификацией (Классификация почв России). Почвы расположены на речной террасе в лесной экосистеме (условно – фоновая территория) на пластичных глинах с прослоями алевролитов на расстоянии 2 км от отвала фосфогипса, имеют слабощелочную реакцию. На расстоянии 7 км от отвала почвы имеют слабокислую реакцию. Сильнокислая реакция отмечается также в лесной экосистеме на песках, песчаниках, аргиллитах и глинах на расстоянии 4 км от отвала фосфогипса.

#### Дерново-подбур - иллювиально-железистый АУ– ВФ –С

Почвы имеют серогумусовый горизонт АУ и залегающий ниже альфегумусовый горизонт ВФ. Горизонт АУ имеет мощность от 10 до 15 см. Горизонт ВФ имеет охристую, желтую или желто-бурюю окраску за счет красящих железистых пленок на поверхности минеральных зерен. Горизонт обычно растянут (Классификация почв России). Почвы расположены на речной террасе в лесной экосистеме (условно-фоновая территория) на песках, песчаниках, аргиллитах и глинах на расстоянии 4 км от отвала фосфогипса, имеют сильнокислую реакцию.

#### Торфяные олиготрофные ТО-ТЕ

Олиготрофно-торфяный горизонт имеет мощность до 50 см и светлую окраску, в течение значительной части вегетационного периода насыщен водой. Горизонт сменяется минеральной породой (Классификация почв России). Почвы расположены на болоте (условно – фоновая территория) на пластичных глинах с прослоями алевролитов на расстоянии 7 - 8 км от отвала фосфогипса, имеют кислую реакцию.

#### Перегноино-глеевая Н-Г-СГ

Почвы имеют перегноинный горизонт Н, имеющий мощность 20–35 см и тёмную окраску. Переход к глеевому горизонту постепенный. Верхняя часть глеевого горизонта прокрашена органическим веществом, горизонт Г имеет мраморовидную окраску (серые,

сизые, ржавые пятна) и творожистую структуру (Классификация почв России). Почвы расположены на речной террасе в лесной экосистеме (условно – фоновая территория) на пластичных глинах с прослоями алевролитов на расстоянии 7 км от отвала фосфогипса, имеют кислую реакцию.

Подбур иллювиально – гумусовый глеевый O-BHg-CG

Почвы имеют подстильно торфяной горизонт O. Иллювиальный горизонт BHg имеет тёмную (тёмно-бурую, коричневую, красновато-коричневую) окраску и признаки оглеения (Классификация почв России). Почвы расположены на борту хвостохранилища на пластичных глинах с прослоями алевролитов на расстоянии 1800 метров от отвала фосфогипса, имеют нейтральную реакцию.

Литозем серогумусовый AY – (C) – R

Почвы имеют серогумусовый горизонт AY, который постепенно или резко переходит в плотную породу. Почвы расположены на речной террасе в лесной экосистеме на глинах и алевролитах, а также на песках и песчаниках на расстоянии 4,1 – 4,2 км от отвала фосфогипса, имеют слабокислую реакцию.

Реплантозем

Почвы представляют собой целенаправленно созданные образования (земли, рекультивированные главным образом под сельскохозяйственное использование), которые характеризуются залеганием гумусированного или минерально-органического плодородного слоя на предварительно подготовленной (обычно спланированной) поверхности нарушенных грунтов, в том числе насыпных (Классификация почв России). Реплантоземы расположены на рекультивируемых отвалах вскрышной породы, а также на подножие и склоне отвала фосфогипса и плакоре хвостохранилища.

Дерново-подзолистые почвы расположены на речной террасе на условно-фоновой территории на пластичных глинах с прослоями алевролитов на расстоянии 4600 метров от отвала фосфогипса, имеют кислую реакцию.

## **1.5. Растительность**

Для Кингисеппского района характерны коренные сосновые зеленомошные и лишайниковые леса, сосновые долгомошные и сфагоновые заболоченные леса, вторичные: леса осиново-березовые на месте коренных, болота (верховые и переходные) и сельскохозяйственные земли (пашни, луга, кустарники). Уровень лесистости (процент площади, покрытой лесом, по отношению ко всей площади ареала) средне-низкий, низкий в южной части и средний в северной.

Преобладающие лиственные породы: береза (*Betula* sp.), ольха черная (*Alnus incana* L.), из хвойных: ель (*Picea* sp.) и сосна (*Pinus* sp.). Также встречаются дуб (*Quercus* sp.), клен (*Acer* sp.), вяз шершавый (*Ulmus glabra* Huds.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), ива (*Salix* sp.), лиственница (*Larix* sp.), ясень (*Fraxinus excelsior* L.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.).

Из кустарников встречаются малина обыкновенная (*Rubus idaeus* L.), жимолость голубая (*Lonicera caerulea* L.). Для травяно-кустарничкового яруса характерно присутствие следующих растений: кострец безостый (*Bromus inermis* Leyss.), овсяница (*Festuca* sp.), хмель обыкновенный (*Humulus lupulus* L.), тимофеевка луговая (*Phleum pratense* L.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), клевер луговой (*Trifolium* sp.), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), люцерна серповидная (*Medicago falcata* L.).

На обводненных участках, где наблюдается выход грунтовых вод отмечается водная растительность в виде ряски (*Lemna* sp.), вода имеет зеленоватый оттенок из-за сине-зеленых водорослей, что свидетельствует о том, что в воде присутствуют фосфаты, нитраты при небольшом содержании кислорода. При удалении от очагов техногенного питания вода становится светлее и прозрачнее (Гидрогеология СССР, 1967).

Район имеет сельскохозяйственных угодий в 1,7 раза больше, чем в среднем по области. Около половины площади лесов - земли лесного фонда, около 50% из них относятся к категории, выполняющие защитные функции, а 50% - промышленная заготовка древесины в щадящем режиме. В настоящее время уменьшаются площади коренных растительных сообществ, изменяется их видовой состав, увеличивается площадь сообществ с доминированием кустарниковых пород, происходит деградация пойменных и водораздельных групп, наблюдается широкое распространение сорной и агрокультурной растительности (Атлас земель..., 2015).

На отвалах фосфогипса в 80-е годы XX века была проведена рекультивация, в результате которой происходит процесс замещения лесных культур естественными осиновыми сообществами. Так, за 35-38 лет на отвалах не деградировали и образовали лесную экосистемы породы *Picea abies* L., *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* L. и *Larix sibirica* L. Показатели их состояния и роста древостоя в целом соответствуют средним показателям по региону, отклонений в развитии лесных насаждений на техногенном субстрате не наблюдается. На исследованных площадках практически не было обнаружено естественного возобновления хвойных пород (Кушнир, 2021).

## Глава 2. Методы исследования

В процессе исследования на территории были выделены техногенные объекты (хвостохранилище, отвал фосфогипса), условно-фоновая территория (лесная и болотная экосистемы), рекультивированный отвал вскрышной породы. Были проанализированы 79 проб на содержание подвижных форм ТМ в почве и 35 проб – на содержание макроэлементов. Расположение объектов и точек отбора проб указано на карте (рис. 4).

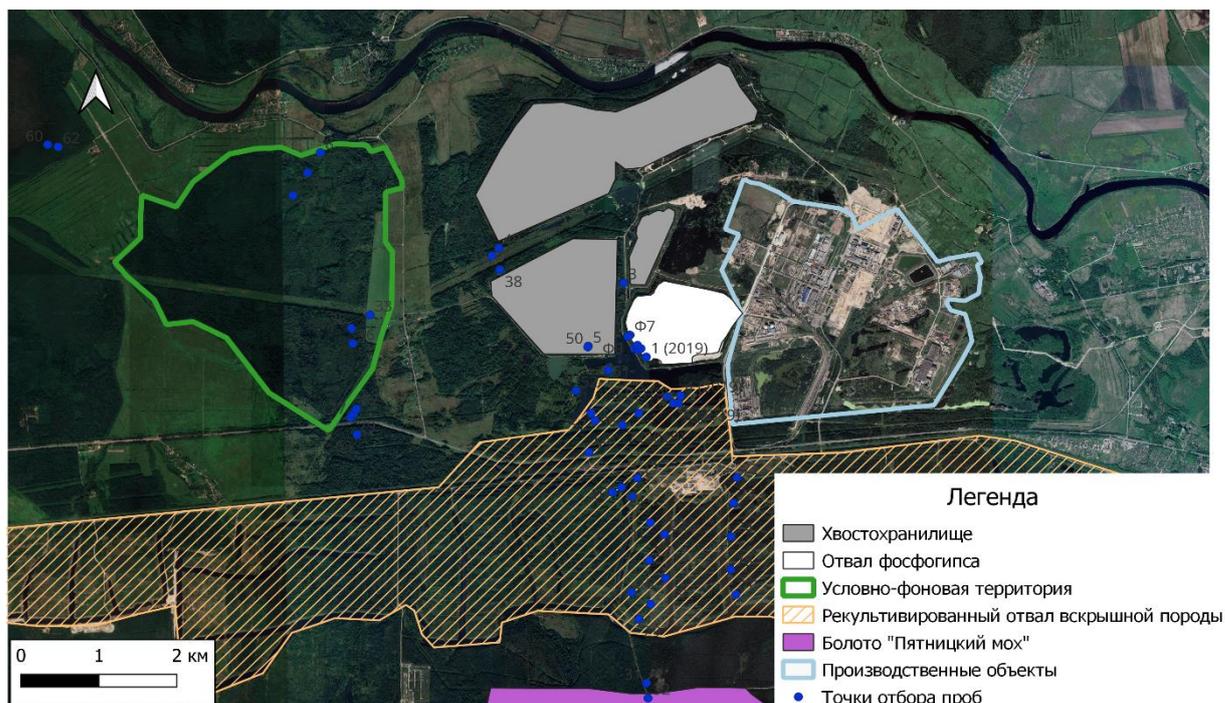


Рисунок 4. Карта исследованной территории с отмеченными точками отбора проб

### 2.1. Определение содержания макроэлементов в почве

Для анализа было подготовлено 35 проб почвы в двукратной повторности. Были определены следующие макроэлементы:  $Cl^-$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $HN_4^+$ ,  $NO_3^-$ .

Подготовка проб к анализу на содержание макроэлементов в почве и определение содержания были сделаны по методическому пособию «Химический анализ почв» (Растворова, Андреев, 1995). Порядок подготовки проб и получения результатов был следующим:

1. Взяты навески почвы по 5 г (минеральный горизонт) и по 1 г (органогенный горизонт) на технических весах в стаканчики (рис. 5);



Рисунок 5. Подготовка проб почвы к анализу. Фото автора

2. В стаканчики налито 25 мл дистиллированной воды для минерального горизонта и 50 мл для органогенного горизонта. Соотношение почва: вода – 1:5 для минерального горизонта и 1:50 для органогенного горизонта;
3. Пробы перемешаны и оставлены на сутки;
4. Определено содержание макроэлементов на приборе потенциометре. Перед тем, как снять показания на потенциометре, необходимо предварительно погрузить электроды в полученную пробу почвы;
5. Для обработки результатов были построены калибровочные графики для:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ . По построенным графикам находим  $x$ . Далее по формуле пересчета определяем содержание макроэлементов в почве в мг/л.

Формулы для пересчета содержания макроэлементов в почве в мг/л:

$$1) [\text{Cl}^-] = 35,5 \cdot 10^{(3-x)}$$

$$2) [\text{K}^+] = 39 \cdot 10^{(3-x)}$$

$$3) [\text{Na}^+] = 23 \cdot 10^{(3-x)}$$

х)

$$4) [\text{NH}_4^+] = 18 \cdot 10^{(3-x)}$$

$$5) [\text{NO}_3^-] = 62 \cdot 10^{(3-x)},$$

где  $x$  – значение на оси абсцисс в калибровочном графике.

Чтобы перевести полученные значения из мг/л в мг/кг, необходимо итоговый вычисленный результат умножить на 5 (для минерального горизонта) и на 50 (для органогенного горизонта). Полученные результаты представлены в приложении (табл. 1).

## 2.2. Определение содержания подвижных форм тяжелых металлов в почве

Было подготовлено 49 проб в двукратном повторности и определено содержание подвижных форм тяжелых металлов: Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Sr, V, Zn. Подготовка проб к анализу на содержание подвижных форм тяжелых металлов была

сделана по методике «Методы физико-химического анализа почв и растений» (Опекунова, Арестова, 2015). Порядок подготовки проб и получения результатов был следующим:

1. Почва была перетерта и просеяна через сито 1 мм (рис. 6);



Рисунок 6. Процесс перетирание пробы почвы и просеивание через сито 1 мм. Фото автора

2. Сделаны навески почвы весом 2,5 г в двукратной повторности (рис. 7);



Рисунок 7. Готовые навески почвы 2,5 г в двукратной повторности. Фото автора

3. Навески почвы помещены в емкость и залиты 25 мл ацетатно - аммонийным буферным раствором (рН=4,8). Суспензия отстаивалась в течение суток;

4. Полученные пробы профильтрованы дважды через фильтр «белая лента» (рис. 8);



Рисунок 8. Процесс фильтрации проб почвы через фильтр «белая лента». Фото автора

5. Определение содержания подвижных форм тяжелых металлов было сделано методом атомно – эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой с помощью оптического эмиссионного спектрометра ICPE 9000 в ресурсном центре научного парка Санкт-Петербургского Государственного Университета по направлению «Методы анализа состава вещества» под руководством Григоряна В. Н;

6. Первичная обработка полученных результатов со спектрометра ICPE 9000 проходила под руководством Григоряна В.М. Полученные значения в мг/л.

Для перевода из мг/л в мг/кг использована формула:

$$C = (a * V) / b,$$

где C - концентрация ТМ, мг/кг;

a - концентрация ТМ в растворе, мг/л;

V - объем пробы (в мл) (50 мл);

b - масса навески (в граммах) (2,5г).

Если в результате обработки результатов содержание подвижных форм тяжелых металлов было ниже чувствительности (н.ч.) метода, то данные записывались в виде: <0,02, <0,2, <2 мг/кг. Содержание Со в изучаемых пробах практически не обнаружено.

В исследовании для сравнения полученных значений содержания ТМ с ПДК использовались СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" от 28 января 2021 года N2, главой IV (Почва населенных мест и сельскохозяйственных угодий). Для нахождения локального фона содержания ТМ и макроэлементов в почве использовалось правило «трех сигм», под которым подразумевают расчет регионального (локального) фона, за который принимают величину  $M \pm Q$ , где M – среднее арифметическое содержание элемента в растительном материале или почвах, Q - стандартное отклонение. Аномальным для исследованной территории будет являться содержание  $M + 2Q$ , а сильно аномальным -  $M + 3Q$  (Опекунова, Арестова, 2015).

## Глава 3. Характеристика источника загрязнения

### 3.1. О предприятии ООО «ПГ «Фосфорит»»

ООО «ПГ «Фосфорит» – одно из ведущих производителей фосфорных удобрений и кормовых фосфатов на Северо-Западе России, а также серной и фосфорной кислот. Продукция «Фосфорита» известна потребителям более 70 стран мира. Аммофос, суперфосфат, аммофоска-универсал выпускаются в виде гранул заданной величины, защищенных от истирания. Технология аммофоски-универсал и дефторированного фосфата разрабатывалась непосредственно на предприятии. Сейчас это признанные на рынке виды удобрений и кормовых фосфатов. Предприятие добывает сырье, которое представляет собой скелетные формы морских организмов, в которых аккумулировались соединения фосфора, и именно в известняках и доломитах находились ценные для промышленности запасы фосфора (РУСПРОМ...).

С 2001 года Промышленная группа «Фосфорит» входит в состав минерально-химической компании «ЕвроХим» (РУСПРОМ...). В настоящее время промплощадка ООО «ПГ «Фосфорит» занимает территорию площадью около 30 км<sup>2</sup>, которая на юге граничит с лесопосадками и трассой М11 «Нарва». Также промплощадка граничит с населенными пунктами и сельскохозяйственными угодьями и частично проходит по берегу р. Луга. В связи с реконструкцией производства в 2006 году был выведен из эксплуатации рудник «Южный», расположенный к югу от автотрассы. До 2010 года поэтапно осуществлялась рекультивация территории карьеров рудника и передача лесхозу спланированных земель (справочник Пестициды...).

Экологические направления компании:

1. Применение новейших технологий, позволяющих снизить выбросы азота в атмосферу при производстве аммиака;

2. Работа по разработке бессточной системы производства, благодаря которой вода, используемая на основном предприятии ПГ «Фосфорит», будет проходить очистку для повторного возвращения на производство.

Сейчас на производственной мощности ПГ «Фосфорит» регулярно осуществляются независимые проверки и аудит системы очистных сооружений. Данные меры нужны для оценки влияния водосброса завода на экологическое состояние реки Луга (ЕвроХим...).

На предприятии выпускаются следующие типы минеральных удобрений:

1) Аммофос или моноаммонийфосфат ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) – высококонцентрированное гранулированное азотно-фосфорное удобрение, азот в котором представлен аммонийной формой. Производится методом нейтрализации фосфорной кислоты аммиаком. Аммофос

используется на всех типах почв для основного и припосевного внесения под все сельскохозяйственные культуры во всех почвенно-климатических зонах страны. На основе аммофоса можно изготавливать любые марки смешанных удобрений. Продукт негигроскопичен, не пылит и не слеживается. Имеет выровненный гранулометрический состав. Хорошо растворим в воде (РУСПРОМ...). Аммофос является физиологически чистым удобрением, поскольку входящие в его состав ионы  $\text{NH}_4^+$  нитрифицируются в почве и подкисляют её. Он эффективен на любых почвах, но особенно на черноземных и каштановых (Особенности производства..., 2014);

2) Суперфосфат - одно из самых распространенных минеральных фосфорных удобрений. Фосфор присутствует в составе этого эффективного средства в виде монокальцийфосфата и свободной фосфорной кислоты. Есть простой и двойной суперфосфат;

3) Простой суперфосфат получают камерным методом при разложении природных фосфатов (апатитового концентрата или фосфоритной муки) серной кислотой. Существенным недостатком технологии производства - образование побочных продуктов: фосфогипса ( $\text{CaSO}_4$ ), газообразного фтористого водорода ( $\text{HF}$ ) на всех стадиях производства, при этом содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$  в простом суперфосфате не превышает 20%;

4) Двойной суперфосфат, как более концентрированное удобрение, получают путем разложения природных фосфатов фосфорной кислотой, при этом производство двойного суперфосфата осуществляется двумя методами: камерным (не отличается от схемы получения простого суперфосфата) и поточным (бескамерным). К недостаткам камерного способа относится наличие длительного складского дозревания продукта, сопровождающегося неорганизованными выделениями вредных фтористых соединений в атмосферу, и необходимость применения концентрированной фосфорной кислоты, содержание  $\text{P}_2\text{O}_5$  около 50-55% (Основы технологии..., 2017);

5) Аммофоска-универсал – универсальное комплексное удобрение. Состав:  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , N, Ca, Mg, S. Используется на различных почвах под все сельскохозяйственные культуры, может применяться в условиях защищенного грунта. Аммофоска универсал является также хорошим удобрением для засоленных почв, так как не содержит хлора и натрия. Многостороннее и сбалансированное содержание элементов минерального питания обеспечивает равномерный и здоровый рост растений в течение всего вегетационного периода. Химическая форма основных компонентов удобрения существенно снижает вымываемость их из почвы, что позволяет снизить дозы внесения при обеспечении эффективности (Петров, Данилов, 2020).

### 3.2. Сбросы и отходы предприятия «Фосфорит»

Водоснабжение предприятия осуществляется собственным водозабором из реки Луга, от сетей городского водопровода и из подземных источников. Сточные воды сбрасываются рассеивающим выпуском в реку Луга. Они формируются из поверхностных и производственных стоков. К поверхностным относятся дождевые и таловые воды с территории промплощадки, к производственным - продувочные стоки парогенераторов, которые прошли биологическую очистку хозяйственно- бытовых стоков предприятия и сторонних организаций (Отчет о..., 2009). Также загрязняющие вещества поступают в водоток инфильтрацией с территорий, занятых хвостохранилищами предприятия (Петрова, Ионова, 2007). Забор воды на технологические нужды ООО «ПГ Фосфорит» осуществляет из реки Луга ниже впадения ручья Горского. К основным специфическим компонентам - загрязнителям ООО «ПГ «Фосфорит» относятся сульфаты, фосфаты, фториды, азотные соединения, а также органические флотореагенты и нефтепродукты, возможны калий, натрий, свободная углекислота, некоторые металлы (Векшин, 2019). Также река подвержена загрязнению взвешенными веществами. На рисунке ниже (рис.9) указана схема размещения основных производственных единиц предприятия и указаны места сброса сточных вод в р. Лугу (Петрова, Ионова, 2007).

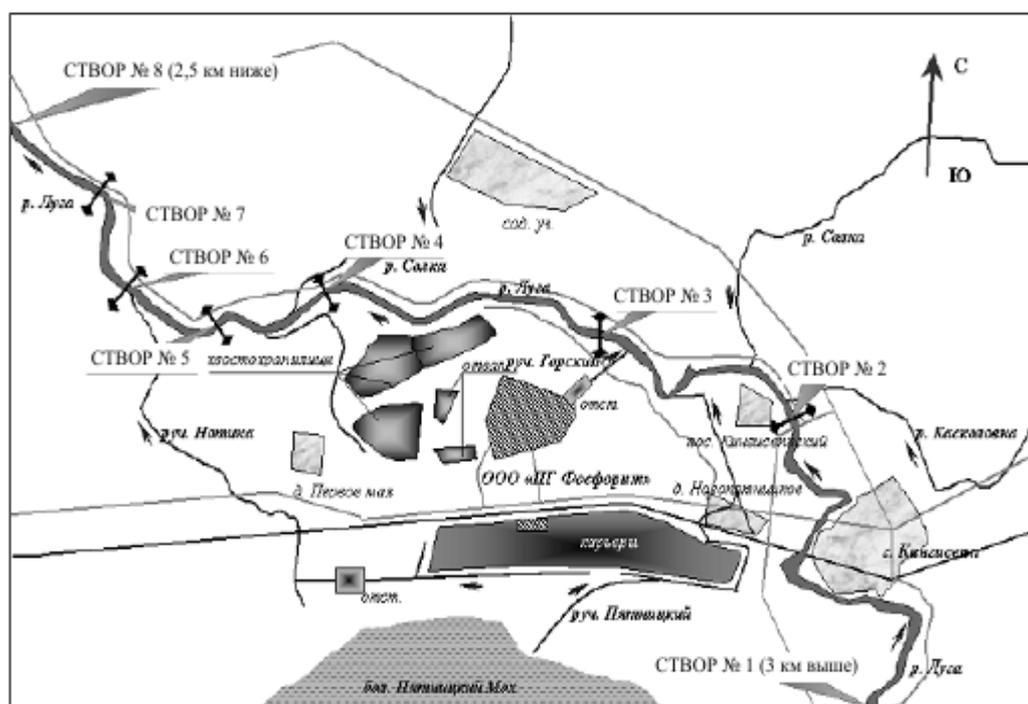


Рисунок 9. Источники загрязнения р. Луги и створы пробоотбора (Петрова, Ионова, 2007)

Твердые отходы предприятия представлены преимущественно фосфогипсом, пиритным огарком и кремнегелем. Фосфогипс в минеральном отношении состоит из гипса с примесью фосфата кальция, неразложившегося апатита, кремнезема I полуторных окислов, образуется как побочный продукт при производстве фосфорных удобрений (Пантелеева, 1985), является кислым

побочным продуктом (Rutherford, Dudas, 1994). Накопленный фосфогипс содержит ряд не извлеченных ценных компонентов: F, K, P, Sr, Si, в том числе радиоактивный изотоп К-40, редкоземельные металлы (иттрий, церий, лантан, ниобий и др.), а также уран, торий (Самонов, 2007). Также фосфогипс возможно применять с некоторыми ограничениями в сельском хозяйстве в качестве удобрений (Yang, Li, 2015). Накопление тяжелых металлов в отвале фосфогипса приводит к его воздействию на компоненты природной среды путем их распространения с помощью водного и ветрового переноса (Tayibi, 2009). Пиритный огарок представляет собой дисперсную породу красно-коричневого цвета, является отходом производства серной кислоты. Кремнегель является отходом производства фтористых солей.

Так, в результате воздействия предприятия, обработки месторождений открытым способом с буровыми и взрывными работами, нарушен естественный рельеф территории. Здесь были образованы карьеры, шламонакопитель, хвостохранилища, полигон бытовых отходов и толщи перемещаемых грунтов (насыпные и намывные). Их мощность составляет 5-10 метров в северной территории и в южной от 30 метров. Для насыпных характерен неоднородный состав и неравномерная уплотненность, слагающие отвалы отработанных карьеров: фосфогипс, пиритные огарки, пески, расположенные в хвостах обогатительной фабрики. Намывные же представлены химическими осадками, которые насыщены высококонцентрированными токсичными растворами и обладают значительной растворимостью, формируются в хвостохранилищах, хранилище гидроудалений и в шламонакопителе (Векшин, 2019). Нарушение природного ландшафта определило необходимость в рекультивации земель разрабатываемого месторождения.

## **Глава 4. Воздействие на компоненты природной среды в районе добычи и переработки фосфорных удобрений**

Влияние производства фосфорных удобрений осуществляется на все компоненты природной среды. Оно заключается в изменении свойств почв, природных вод, воздуха, литосферы, состояния растительного покрова путем воздействия отходов производства.

### **4.1. Влияние предприятия по производству фосфорных удобрений на атмосферу**

Выбросы в атмосферу пыли - газового загрязнения через дымовые трубы и аспирационные установки содержат серный ( $SO_3$ ) и сернистый ( $SO_2$ ) ангидрид, которые попадают в воздух из отходов по производству серной кислоты (Климов, 1985), а также фтор, в виде фтороводорода ( $HF$ ) и фторсодержащих аэрозолей, которые выбрасывается с отходящими газами в атмосферу при переработке в суперфосфат. Также соединения фтора попадают в атмосферу из отвалов фосфогипса (Чепрасова, Грищенко, 2019). Так, в составе атмосферных осадков в этой зоне повышаются концентрации: ионов сульфатов, фтороводорода, соединений азота, фосфора и других макрокомпонентов, а также ряда тяжелых металлов (Климов, 1985). Загрязнение воздуха обусловлено содержанием взвешенных веществ в атмосфере, повышенным содержанием диоксида азота и оксидом углерода, но по значению ИЗА уровень оценивается как «низкий» (Состояние окружающей..., 2019).

### **4.2. Влияние предприятия по производству фосфорных удобрений на природные воды**

При выпуске 1т аммофоса образуется до 5т фосфогипса и более 40 м<sup>3</sup> сточных вод. Производство фосфорных удобрений является крупным водопотребителем (Климов, 1985). Около половины воды, которую получает предприятие на технологические нужды (15- 40 тыс м<sup>3</sup>), сбрасывают в водоемы как условно чистые, то есть почти без очистки (Климов, 1985). Сброс сточных вод производится следующим образом: условно чистые стоки сбрасываются непосредственно в реку, химически загрязненные и хозяйственно-бытовые стоки (после аэротенков) выводят жидкие отходы в шламонакопитель. Перед поступлением в шламонакопитель сточные воды проходят нейтрализацию известью или мелом. Из шламонакопителя стоки поступают в систему технического водооборота (Пантелеева, 1985).

Обычно воды общего поверхностного стока рассматриваемых предприятий, формирующиеся за счет смешения промышленно ливневых и бытовых стоков, имеют

преимущественно хлоридно-фосфатно-сульфатный натриево-аммонийный состав, обладают нейтральной или слабокислой реакцией при общей минерализации 0,6—1,0 г/л (Климов, 1985). Сточные воды довольно часто содержат избыточные фториды, орто - и полифосфаты, фосфорорганические соединения. Также могут наблюдаться высокие концентрации Al, As, Mg, летучих фенолов (Пантелеева, 1985).

Грунтовые воды, которые непосредственно находятся под влиянием очагов загрязнения, имеют общую минерализацию от 3-5 до 80-100г/л, что соответствует общей минерализации солоноватых вод и рассолов. Величины рН изменяются от 1,5-2 до 8-9. В составе нередко преобладают специфические для рассматриваемой территории ионы аммония, нитратов, сульфатов, фосфатов и фтора, ортофосфаты, могут отмечаться высокие концентрации органических веществ, недиссоциированных молекул кремневой кислоты, фтор-комплексов и различных металлов (Климов, 1985), а также хлоридов (Ющенко, Павловский, 2020). На участках воздействия отвала фосфогипса происходит техногенная метаморфизация подземных вод в направлении замещения гидрокарбонатов сульфатами, и при этом происходит формирование вод сульфатного типа (Ларионова, 2018).

Разнообразие источников образования и путей поступления поллютантов в лужские воды определяет достаточно сложный характер их действия на речную биоту. Так, было выявлено резкое усиление воздействия сточными водами, которые выпускаются через ручей Горский, далее по течению реки оно увеличивается. В речные воды попадает достаточно много поллютантов в зоне промплощадки предприятия. Нижележащие организованные источники сброса сточных вод (руч. Мутный, руч. Нотика) сообщают реке гораздо меньшую нагрузку, и их вклад в результирующее воздействие малозначителен. Органические вещества в большей степени поступают через ручей Горский, а ниже по течению первенство постепенно переходит к фосфатам. Данные факторы способствуют эвтрофикации реки и определяют прогрессирующую гипоксию (Петрова, Ионова, 2007).

На 2019-2020 гг. состояние реки Луги ниже города Кингисеппа характеризуется как «загрязненная». Превышения содержания наблюдались по ХПК (химическое потребление кислорода), азоту нитритному, железу общему, меди, цинку и марганцу (Об экологической..., 2021).

#### **4.3. Влияние предприятия по производству фосфорных удобрений на почвенный покров**

Отвалы фосфогипса располагаются на открытой местности в непосредственной близости от предприятия, природных комплексов и даже населенных пунктов, занимают обширные

территории (Chernysh Y., 2021). Распределение загрязняющих веществ в пространстве зависит от удаленности от источника загрязнения - фосфогипса, розы ветров и последующего перераспределения потенциальных почвенных поллютантов в радиальных и латеральных потоках в почвенной толще.

#### 4.3.1. Влияние предприятия по производству фосфорных удобрений на pH почвы

Под влиянием фосфогипса кислотность почв изменяется: в избыточно увлажненных преобладает подщелачивание, а в почвах нормального увлажнения (автоморфных) – подкисление (Плеханова, 2014). При увеличении содержания фосфогипса в почве, pH почвенной вытяжки уменьшается, что влияет на подвижность токсикантов: увеличивается содержание подвижного фосфора и стронция, стабильного стронция и фторид-иона (Яковлев, 2013).

При проведении исследования влияния предприятия ООО «ПГ «Фосфорит» было отмечено, что слабощелочная среда характерна для рекультивированных отвалов вскрышной породы, а также для техногенных объектов. Кислая среда была обнаружена на болоте и в лесной экосистеме. Наиболее кислая среда характерна для условно-фоновой территории (рис. 10, 11).

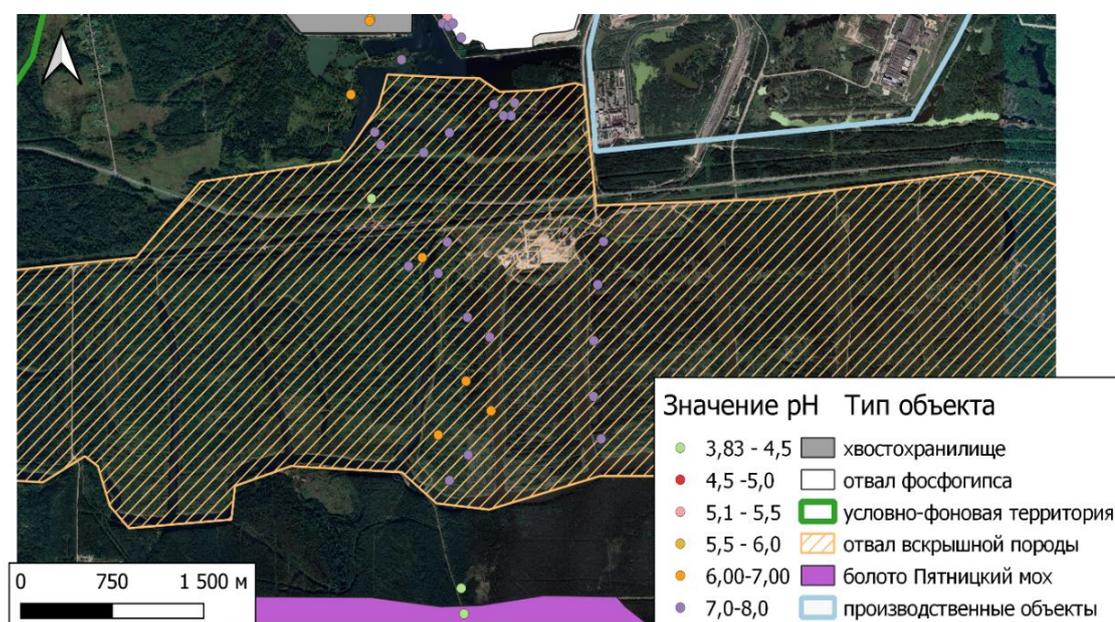


Рисунок 10. Карта распределения значений pH на техногенных объектах и рекультивируемых отвалах вскрышной породы

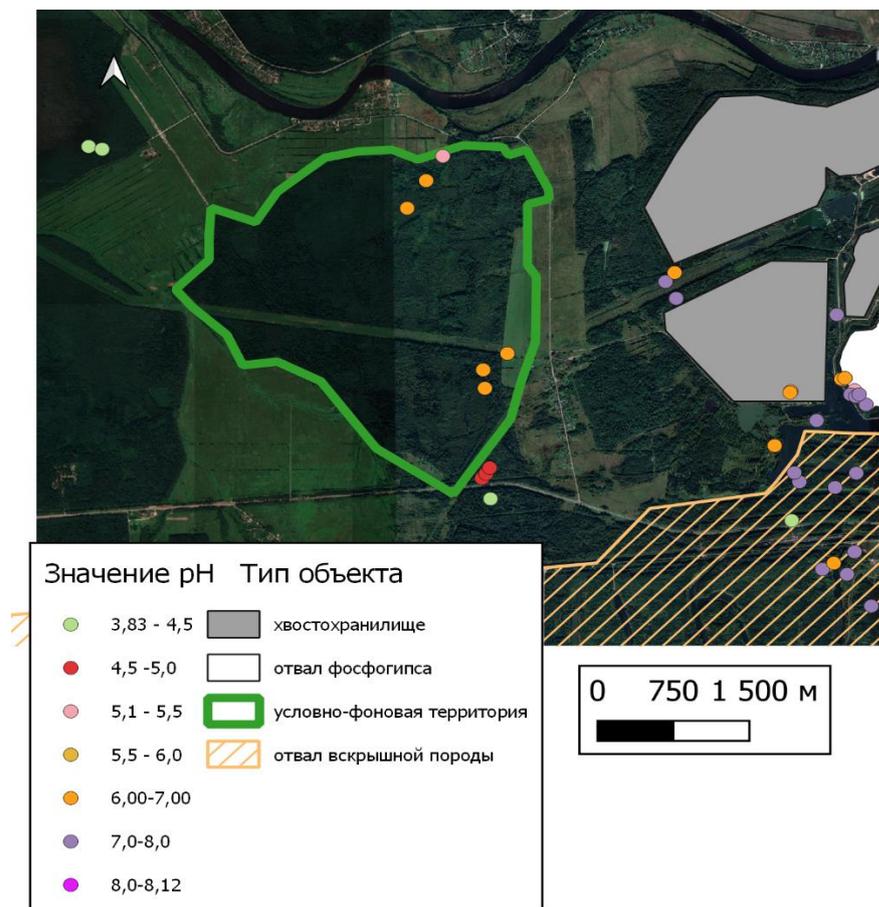


Рисунок 11. Карта – схема распределения значений рН на условно-фоновой территории

Так, было выявлено, что при приближении к техногенным объектам, а также к рекультивированному отвалу вскрышной породы, наблюдается увеличение значение показателя рН, то есть наблюдается переход от более кислой среды, характерной для условно-фоновой территории к слабощелочной и щелочной. При движении от вершины отвала фосфогипса к его подножию отмечается увеличение значения (от слабокислой среды до нейтральной), для хвостохранилища характерна нейтральная реакция среды. На рекультивированном отвале вскрышных пород наблюдается, в основном, нейтральная, а также слабощелочная среда. Из этого можно сделать вывод, что воздействие предприятия приводит к увеличению показателя рН, т.е. к подщелачиванию почвенного покрова.

4.3.2. Влияние предприятия по производству фосфорных удобрений на содержание в почве подвижных форм тяжелых металлов

Почвы в импактных зонах относительно фосфогипса могут быть загрязнены специфичными поллютантами 1–3 классов опасности (Cd, Cu, Pb, Sr и Zn) в концентрациях, достоверно выше фоновых (Жукова, 2017). Концентрация Pb достаточно медленно смещается

вглубь почвенного профиля, это может быть связано с влиянием буферных свойств почв и поступлением металла из отвала фосфогипса в малорастворимой форме (Черныш, Пляцук, 2017). Характерно большое содержание Cd и Pb, они присутствуют в больших количествах вокруг самого отвала. Максимальное их количество в органогенных горизонтах связано с тем, что гуминовые кислоты адсорбируют их из почвенного раствора и связывают, уменьшая возможность дальних миграций, то есть происходит аккумуляция данных металлов в верхних слоях почвенного покрова (Пляцук, 2015). Также стоит отметить, что подвижность Cd в почве увеличивается при значении pH < 5 (Жукова, 2017).

Из всех металлов, наиболее высокая концентрация в фосфогипсе характерна для подвижного Sr (377 и 380 мг/кг), что делает его основным элементом - загрязнителем. Для него отмечается тенденция в уменьшении концентрации по почвенному профилю. Преимущественной формой вертикальной миграции Sr является миграция в ионной форме, гуматы и фульваты Sr имеют значительно меньшую подвижность (Петренко, 2012). Также для Sr характерно некоторое накопление на карбонатном и сульфатном барьерах (Горлов, Кречетов, 2016). Стронций легко осаждается в виде биогенных карбонатов, а в зоне гипергенеза может иммобилизоваться глинистыми минералами и органическим веществом. В кислых почвах Sr активно вымывается вниз по профилю (Жукова, 2017). Из-за повышенного содержания Sr в почве снижается отношение Ca/Sr, что в итоге негативно влияет на растения (Плеханова, 2014). Повышенное содержание водорастворимых и обменных форм Sr имеют дерново-подзолистые почвы, а для дерново-среднеподзолистых среднесуглинистых почв наблюдается увеличение вниз по профилю для водорастворимого и уменьшение для обменного Sr (Петренко, 2012).

Для выполнения оценки воздействия предприятия ООО «ПГ «Фосфорит» на содержание в почве тяжелых металлов были использованы статистические методы. Так, было рассчитано среднее содержание ТМ в почве, их максимальное и минимальное значение, дисперсия (табл.1), исследовано изменение содержания в почве в зависимости от удаленности от отвала фосфогипса, по его склону и на борту хвостохранилища, а также по почвенному профилю, найден локальный геохимический фон и были сравнены полученные значения содержания ТМ в почве со значениями ПДК/ОДК в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 и найденным локальным геохимическим фоном.

При расчете средних содержаний подвижных форм тяжелых металлов аномальные значения не учитывались у Cd (31 мг/кг), Cr (4 мг/кг, 11 мг/кг), Fe (1210 мг/кг, 2080 мг/кг), Ni (4 мг/кг, 19 мг/кг), Pb (34 мг/кг, 10 мг/кг, 11 мг/кг), Sr (377 мг/кг, 263 мг/кг) и V (12 мг/кг, 10 мг/кг). Данные значения не брались при расчете дисперсии. При учете аномальных значений среднее содержание будет равно для Cd = 1,1 мг/кг, Cr = 0,52 мг/кг, Fe = 162 мг/кг, Ni = 0,87 мг/кг, Pb = 2,42 мг/кг, Sr = 22 мг/кг, V = 0,62 мг/кг.

Таблица 1. Данные по содержанию подвижных форм ТМ в почве, мг/кг

Название элемента	Среднее мин. - макс. (n=79)	Дисперсия (n=79)	Медиана (n=79)
Ba	$\frac{45}{0,29 - 300}$	2388	32
Cd	$\frac{0,33}{0,01-31}$	1,76	0,12
Cr	$\frac{0,3}{\text{н.ч.} - 11}$	0,18	0,19
Cu	$\frac{3}{\text{н.ч.} - 12}$	4,8	3,13
Fe	$\frac{124}{0,64 - 2080}$	33722	46
Mn	$\frac{98}{1,03 - 432}$	9962	53
Ni	$\frac{0,5}{\text{н.ч.} - 19}$	0,17	0,45
Pb	$\frac{1,77}{\text{н.ч.} - 34}$	1,71	1,34
Sr (n=49)	$\frac{9}{1,48 - 377}$	4060	7
V	$\frac{0,2}{\text{н.ч.} - 12}$	57	0,04
Zn	$\frac{4}{0,8 - 37}$	32	3,15

Наибольшее содержание **Ba** выявлено на условно – фоновой территории (лесная экосистема) на речной террасе в агрозёме альфегумусовом глеевом на расстоянии 1,9 км от отвала фосфогипса, а наименьшее – на рекультивируемой территории в реплантоземе на расстоянии 1,5 км от отвала фосфогипса. Наибольшее содержание **Cd** установлено на плакоре хвостохранилища в реплантоземе на расстоянии 600 метров от отвала фосфогипса, а наименьшее – на вершине рекультивируемого отвала вскрышных пород в реплантоземе на расстоянии 1,7 км от отвала фосфогипса.

Наибольшее содержание **Cr** обнаружено на борту хвостохранилища в подбуре иллювиально-гумусовом глееватом, наименьшее – в пробах с концентрацией <0,02 мг/кг на всех исследуемых объектах. Наибольшее содержание **Cu** выявлено на плакоре хвостохранилища на реплантоземе, наименьшее – в пробах с концентрацией <0,02 мг/кг: в лесной экосистеме и на рекультивируемых отвалах вскрышной породы.

Наибольшее содержание **Fe** установлено на условно-фоновой территории (лесная экосистема) на речной террасе в дерновом – подбуре на расстоянии 4 км от отвала фосфогипса, а наименьшее – на рекультивируемой территории в реплантоземе на расстоянии 1,5 км от отвала фосфогипса. Для содержания него характерно увеличение при удалении от отвала фосфогипса.

Наибольшее содержание **Mn** выявлено на рекультивируемой территории в реплантоземе на расстоянии 1 км от отвала фосфогипса, а наименьшее – на вершине отвала фосфогипса. Наибольшее содержание **Ni** обнаружено на склоне отвала фосфогипса, наименьшее - на условно-фоновой территории (лесной экосистеме) на речной террасе в дерново-подбуре на расстоянии 2 км от отвала фосфогипса и в агроземе альфегумусовом глеевом на расстоянии 1,9 км от отвала фосфогипса соответственно

Наибольшее содержание **Pb** установлено на плакоре хвостохранилища в реплантоземе на расстоянии 600 м от отвала фосфогипса, а наименьшее – на рекультивируемой территории в реплантоземе на расстоянии 1 км и 3 км от отвала фосфогипса, где содержание меньше, чем 0,2 мг/кг. Наибольшее содержание **Sr** обнаружено на склоне отвала фосфогипса, наименьшее содержание – на условно- фоновой территории (лесной экосистеме) на речной террасе в дерново – подбуре на расстоянии 4 км от отвала фосфогипса. Наблюдается уменьшение содержания **Sr** с удалением от отвала фосфогипса (рис.12), что говорит о загрязнении предприятием отвалом фосфогипса стронцием.

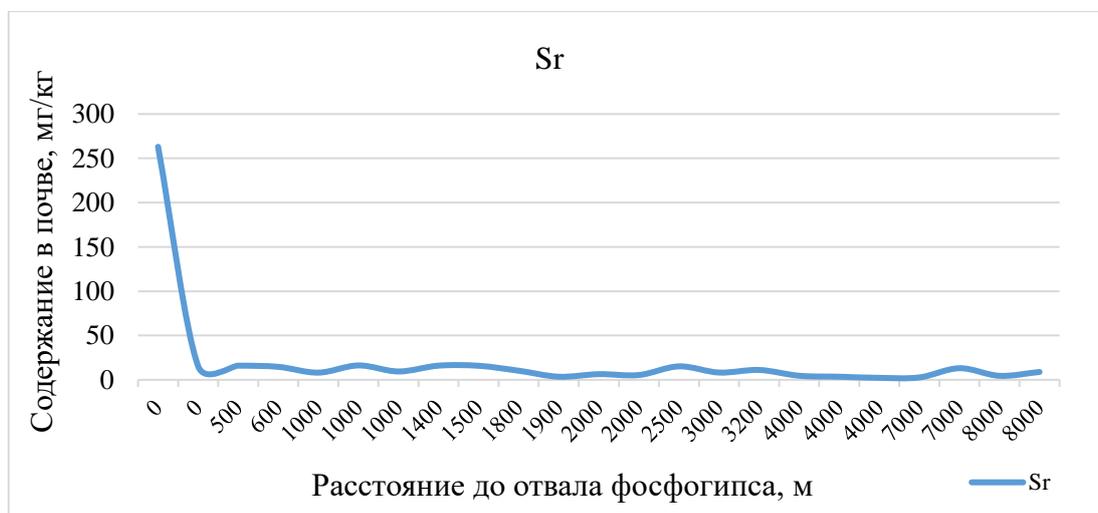


Рисунок 12. Изменение содержания подвижной формы стронция в зависимости от расстояния до отвала фосфогипса

Наибольшее содержание **V** установлено на подножие отвала фосфогипса на реплантоземе. Наименьшее - в лесной экосистеме в глееземе серогумусовом на расстоянии 4,5 км от отвала фосфогипса, на рекультивируемых отвалах вскрышной породы в реплантоземе на расстоянии 500 – 3200 метров от отвала фосфогипса, в лесной экосистеме в дерновом-подбуре на расстоянии 2 км и в агроземе альфегумусовом глеевом на расстоянии 1,9 км от отвала, на борту

хвостохранилища в подбуре иллювиально-гумусовом глееватом на расстоянии 1,8 км, на склоне отвала фосфогипса, в болоте в эфтрофно торфяной почве на расстоянии 8 км отвала фосфогипса, для них характерна концентрация < 0,02 мг/кг. Наибольшее содержание **Zn** выявлено на подножие отвала фосфогипса, наименьшее – на условно – фоновой территории (лесная экосистема) на речной террасе в перегнойно-глеевой почве.

Так, для большинства ТМ было выявлено, что их содержание в почве в подвижной форме равномерно распределено на исследованной территории. Закономерность в уменьшении содержания при удалении от отвала фосфогипса была установлена для **Sr**. Также выявлено небольшое увеличение содержания **Fe** при удалении от отвала фосфогипса. Максимальные значения содержания в большинстве случаев были установлены на техногенных объектах, это характерно для всех ТМ, кроме **Ba, Fe, Mn**.

Концентрация **Pb** незначительно уменьшается на склоне, но на подножие его содержание увеличивается в 2,5 раза. Для **Zn** характерно уменьшение концентрации на склоне в 2 раза и резкое увеличение на подножие в 8 раз. Содержание **Mn** значительно увеличивается на склоне отвала фосфогипса (в 171 раз), а к подножию уменьшается. При миграции **Ba** по склону отвала фосфогипса наблюдается не устойчивый характер накопления: перемещаясь по склону, его концентрация увеличивается, но далее, к подножию отвала, уменьшается приблизительно в 2 раза. Это говорит о накоплении **Ba** и **Mn** на склоне отвала фосфогипса. Содержание **Cd, Cr, Fe, Ni** и **V** стабильно увеличивается от вершины к подножию отвала фосфогипса, что говорит о накоплении данных элементов в низшей части отвала фосфогипса (табл. 2).

Таблица 2. Содержание подвижных форм ТМ по склону отвала фосфогипса, мг/кг

Горизонт	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sr	V	Zn
Вершина отвала фосфогипса (высота 62 м)											
Фосфогипс	2	0,1	0,08	3,62	6	1	0,37	1,5	-	-	8
Склон отвала фосфогипса (высота 45 м)											
Фосфогипс	42	0,14	<0,02	3,89	37	249	0,64	1,01	15	<0,02	4
Подножие отвала фосфогипса (высота 22 м)											
АУ	18	0,19	0,88	6	119	163	4	2,52	-	12	37

На хвостохранилище для **Ba** наблюдается увеличение содержания в иллювиальном горизонте (ВНг). Концентрация **Cd** от плакора к борту резко уменьшается (в 312 раз), происходит накопление на вершине, а также в органогенном горизонте почвы (О), далее по профилю содержание уменьшается, что связано с тем, что гуминовые кислоты адсорбируют его и связывают. Для **Cu, Ni, Pb**, как и для **Cd** характерно уменьшение концентрации как при

радиальной миграции по хвостохранилищу, так и при латеральной по почвенному профилю. Так, содержание **Cu** уменьшается в 2 раза от плакора к борту, **Ni** в 6 раз и **Pb** в 29 раз. При радиальной миграции наибольшее содержание данных элементов отмечается в органогенном горизонте, то есть происходит аккумуляирование данных металлов в верхних слоях почвы. При миграции **Cr** по почвенному профилю отмечается его накопление в органогенном горизонте. Концентрация **Fe** увеличивается на борту хвостохранилища (в 9 раз больше, чем на плакоре), где оно накапливается, а также увеличивается при миграции по почвенному профилю с накоплением в иллювиальном горизонте. Для **Mn** характерно наибольшее содержание на борту хвостохранилища, содержание в почвенных горизонтах не сильно отличается, но преобладает в органогенном горизонте. Концентрация **Sr** при радиальной миграции преобладает в иллювиальном горизонте. Содержание **Zn** резко уменьшается при латеральной миграции от плакора к борту (в 8 раз), при радиальной миграции по почвенному профилю наблюдается уменьшение элемента в 2 раза с наибольшим содержанием в органогенном горизонте (Табл.3).

Так, наибольшее содержание в иллювиальном горизонте характерно для **Ba, Fe и Sr**, для остальных ТМ характерно преобладание в верхнем почвенном горизонте. Накопление на плакоре хвостохранилища характерно для **Cd, Cu, Ni, Pb, Zn**, а на борту – **Mn, Fe**.

Таблица 3. Содержание подвижных форм ТМ на хвостохранилище, мг/кг

Горизонт	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sr	V	Zn
Плакор хвостохранилища, реплантозем (высота 23 м)											
W	-	31	-	12	1	3	2	34	-	-	33
Борт хвостохранилища, подбур иллювиально-гумусовый глееватый (высота 21 м)											
O	60	0,10	11	5,41	11	57	0,44	1,2	10	<0,02	4,01
BHg	89	0,08	<0,02	5,01	16	53	0,37	0,43	30	<0,02	2,3

При миграции **Ba, Fe** по почвенному профилю на условно-фоновой территории (табл.4) наблюдается, что их содержание тяготеет к иллювиальному горизонту ВТ и глеевому горизонту G. Накопление **Cd** выявлено только в верхних горизонтах почвы, что говорит о связывании его с гумусовыми веществами. В накоплении **Cu, Cr, Mn и Pb** по почвенному профилю наблюдается неустойчивый характер накопления. Наибольшее содержание **Ni** по почвенному профилю тяготеет к накоплению в горизонтах ВF и G. В дерново-подзолистой почве отмечается накопление **Ni** в верхнем горизонте почвы. То же характерно и для миграции **Sr** и **Zn**. Содержание **V** в большинстве изученных почвенных профилей выявлено в верхнем серогумусовом горизонте АУ (табл.4).

Таблица 4. Содержание подвижных ТМ в почвенных профилях на условно-фоновой территории, мг/кг

Горизонт	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sr	V	Zn
Лесная экосистема, дерново-подбур иллювиально-железистый (расстояние от отвала фосфогипса 4000 м)											
AУ	16	0,08	0,27	2,5	87	19	0,24	2	2,24	0,07	0,89
BF	9	0,01	0,53	5	174	39	0,48	4,99	4,5	<0,02	1,8
Лесная экосистема, глеезем серогумусовый (расстояние от отвала фосфогипса 4600 м)											
AУ	17	0,12	1,18	0,37	224	10	0,47	2	7,44	0,23	1,24
G	93	0,05	0,46	1,05	288	5	0,56	0,91	7,95	<0,02	2,5
Лесная экосистема, перегнойно-глеевая почва (расстояние от отвала фосфогипса 7000 м)											
AУ	4	0,11	0,005	1,11	66	22	0,05	1,34	2	0,04	0,8
G	64	<0,02	0,46	0,42	1210	92	0,8	1,75	9	0,69	3
Фермерские земли, дерново-подзолистая почва (расстояние от отвала фосфогипса 4600 м)											
AУ	17	0,32	0,92	3	108	141	4	1,28	53	10	27
BT	47	0,09	0,67	0,37	291	18	0,38	1,13	6	0,11	4

При рассмотрении почвенного профиля (табл.5) для изучения миграции подвижных форм ТМ выявлены следующие закономерности. Содержание **Ba, Sr** уменьшается по почвенному профилю. Наибольшее содержание **Cd, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn** наблюдается в элювиальном горизонте. При движении вниз по почвенному профилю увеличивается содержание **Cu**.

Таблица 5. Содержание подвижных форм ТМ в почвенных разрезах на рекультивируемой территории, мг/кг

Горизонт	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sr	V	Zn
Отвал вскрышных пород, реплантозем (расстояние от отвала фосфогипса 1000 м)											
AУ	41	0,07	0,347	<0,02	32	52	0,15	1,84	8	<0,02	1,13
E	32	0,08	0,352	4,6	78	56	0,45	2,21	5	<0,02	2,03
BHF	24	0,04	0,41	5,4	57	37	0,37	1,91	2	<0,02	1,9

При рассмотрении изменения содержания подвижных форм тяжелых металлов в зависимости от типа территории: рекультивируемые отвалы вскрышных пород, техногенные объекты (отвал фосфогипса и хвостохранилище), условно - фоновая территория (лесная экосистема, болото) были выявлены следующие закономерности. Содержание **Ba** равномерно распределяется на территории исследования с небольшим преобладанием на рекультивируемой

территории. Наибольшее содержание **Fe** отмечено на условно-фоновой территории, а наименьшее – на техногенных объектах (рис. 13).

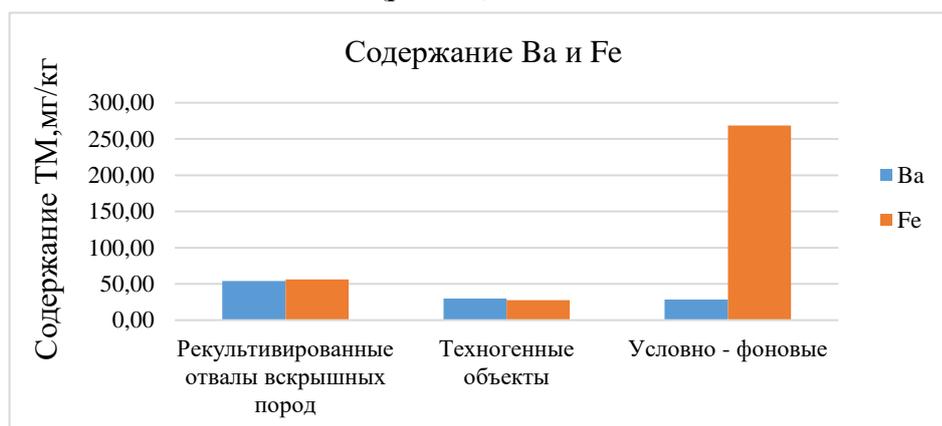


Рисунок 13. Содержание подвижных Ba и Fe в зависимости от типа территории

Содержание **Cd** преобладает на техногенных объектах, а наименьшее содержание установлено на условно – фоновой территории. Наибольшее содержание **Cu** отмечается на условно-фоновой территории, а **Pb** – на техногенных объектах. Содержание **Zn** резко преобладает на техногенных объектах. Для **Pb** и **Zn** наблюдается равномерное распределение между рекультивированными территориями и условно-фоновыми (рис. 14).

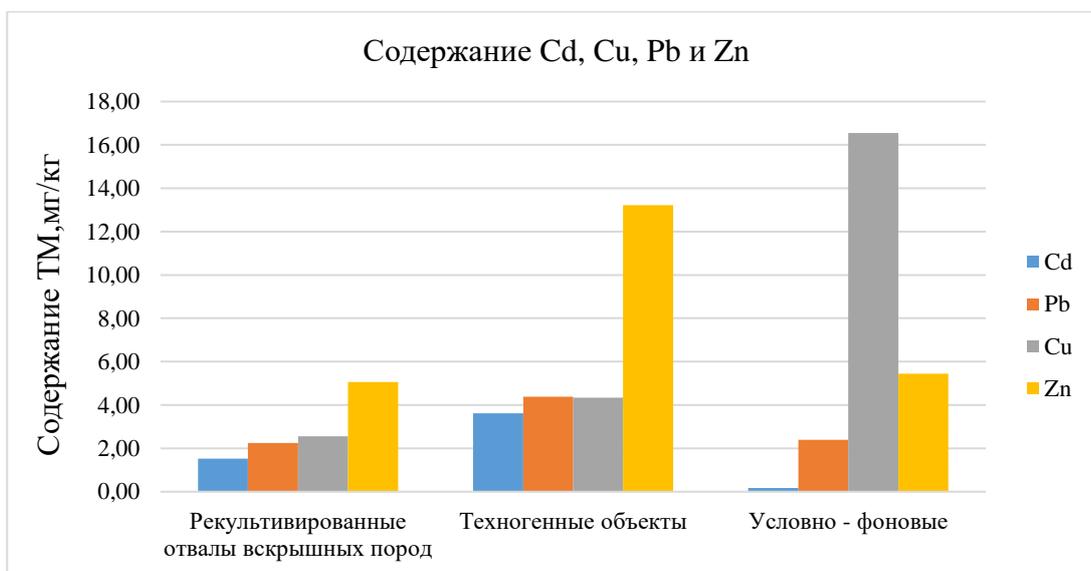


Рисунок 14. Содержание подвижных Cd, Pb, Cu и Zn в зависимости от типа территории

Содержание **Cr** на техногенных объектах немного превышает содержание на условно – фоновой территории. Содержание **Ni** резко преобладает на техногенных объектах, а наименьшее содержание наблюдается на условно-фоновой территории. Отмечается резкое преобладание содержания **V** на техногенных объектах (рис. 15).

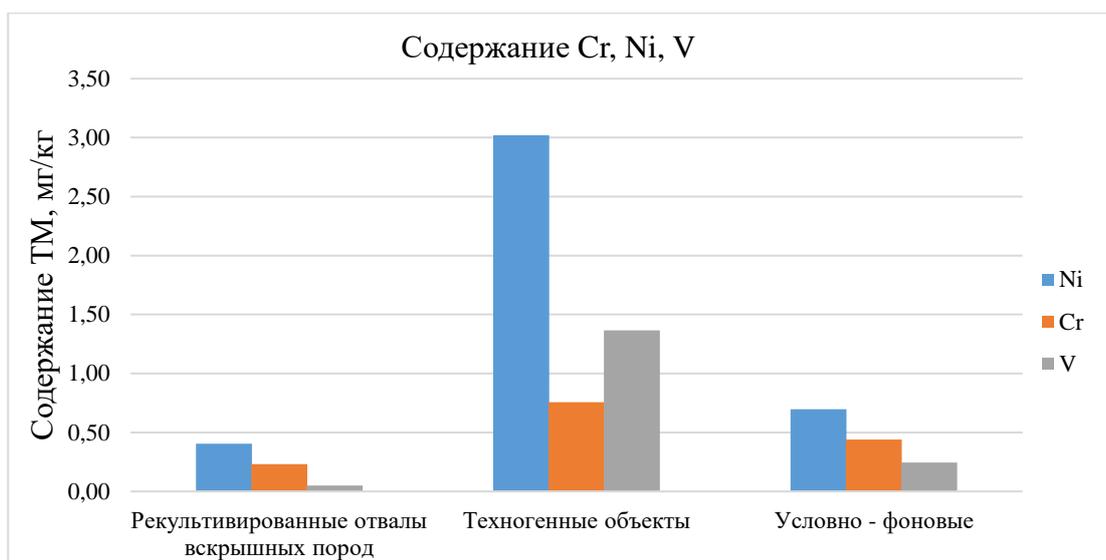


Рисунок 15. Содержание подвижных Ni, Cr и V в зависимости от типа территории

Содержание **Mn** преобладает на рекультивируемой территории, наименьшее содержание наблюдается на условно – фоновой территории. Содержание **Sr** резко преобладает на техногенных объектах (рис. 16).

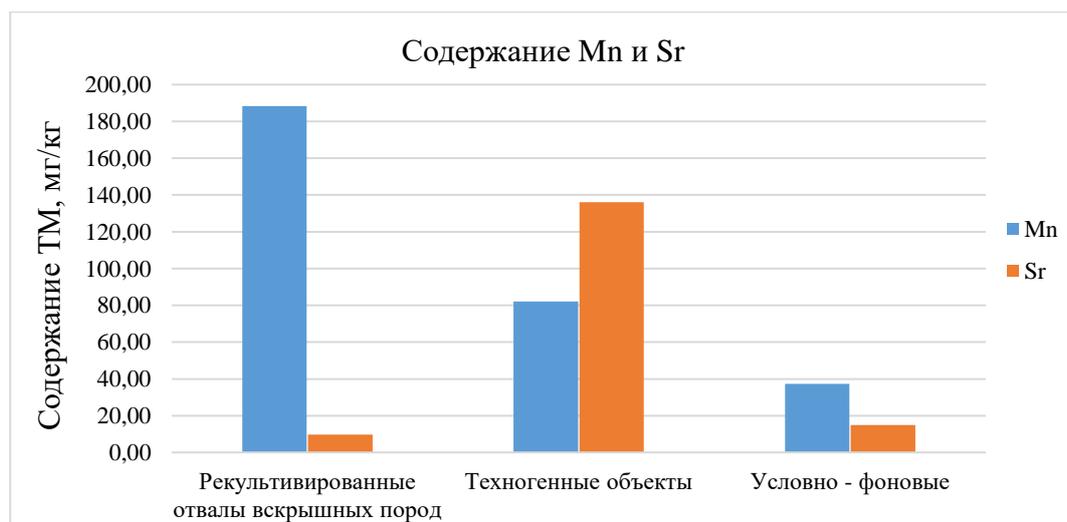


Рисунок 16. Содержание подвижных Mn и Sr в зависимости от типа территории

Так, было установлено, что на техногенных объектах преобладают **Cd, Ni, Pb, Sr, Zn, V**, что говорит о преобладающем воздействии в загрязнении территории данными элементами. На условно - фоновой территории отмечено наибольшее содержание **Cu** и **Fe**, на рекультивируемых территориях – **Mn**, содержание **Va** равномерно распределено по территории.

Для оценки воздействия предприятия по добыче и переработке фосфатного сырья на почвенный покров проводилось сравнение со значениями ПДК/ОДК в соответствии с санитарными правилами и нормами СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" от 28 января 2021 года N2, главой IV (Почва населенных мест и сельскохозяйственных угодий). Так, при сравнении с ПДК значений содержания подвижных форм ТМ отмечены

превышения по **Cu** на условно-фоновой территории, техногенных объектах и рекультивируемой территории, наибольшее (12,2 мг/кг, 4ПДК) из них – на хвостохранилище. Превышение по **Mn** (141 мг/кг; 1,4 ПДК), **Ni** (4,76 мг/кг; 1,2 ПДК) и **Zn** (27,50 мг/кг; 1,2 ПДК) отмечено на условно-фоновой территории в дерново-подзолистой почве на расстоянии 4,6 км от отвала фосфогипса. Превышение по **Ni** также определено на отвале фосфогипса (4,5 мг/кг, 1,1 ПДК; 19,7 мг/кг, 4,9ПДК), а по **Zn** (26 мг/кг, 1,1 ПДК;) установлено в реплантоземе на вершине рекультивированного отвала вскрышных пород на расстоянии 1800 от отвала фосфогипса, наибольшее превышение установлено на отвале фосфогипса (30 мг/кг, 1,3ПДК; 37 мг/кг, 1,6ПДК) и хвостохранилище (33 мг/кг, 1,4 ПДК). Превышения ПДК по **Pb** (6,82 мг/кг, 1,1ПДК; 11,45 мг/кг, 1,9 ПДК; 31, 52 мг/кг, 5,2ПДК; 10,38 мг/кг, 1,7ПДК) обнаружено в реплантоземе на вершине рекультивированного отвала вскрышных пород на расстоянии 400 метров и 1,4 км от отвала фосфогипса, а также на хвостохранилище.

Для сравнения полученных значений с фоновыми необходимо произвести расчет регионального геохимического фона, который проводится в соответствии с правилом “трех сигм”. Так, был рассчитан локальный фон подвижных форм ТМ (табл.6).

Таблица 6. Локальный фон, аномальные и сильно аномальные содержания подвижных форм ТМ, мг/кг

Название элемента	Региональный (локальный) фон (n=79)	Аномальное содержание (n=79)	Сильно аномальное содержание (n=79)
Ba	(0,1 - 94)	143	192
Cd	(0,1 - 1,6)	3	4,3
Cr	(0,01 - 0,73)	1,16	1,58
Cu	(0,82 - 5)	7	9
Fe	(0,1 - 307)	491	675
Mn	(0,1 - 197)	297	397
Ni	(0,08-0,91)	1,3	1,7
Pb	(0,5 - 3)	4,4	5,7
Sr	(0,92 - 18)	26	35
V	(0,01 - 0,59)	0,98	1,4
Zn	(0,1 - 12)	20	27

При изучении содержания **Ba** на исследованной территории было выявлено, что большинство полученных значений относится к фоновым, наибольшая часть из которых – к рекультивированным отвалам вскрышной породы. Аномальные значения (147 мг/кг и 184 мг/кг) были выявлены на хвостохранилище и на рекультивированной территории соответственно. Сильно аномальные значения (300 мг/кг и 192 мг/кг) были установлены на условно-фоновой территории (лесная экосистема) и на рекультивированном отвале вскрышных пород.

Большинство полученных значений **Cd** относится к фоновым, преобладающая часть из которых – к условно – фоновой территории (лесной экосистеме). Аномальные значения (3,26 мг/кг, 3,02 мг/кг, 3,19 мг/кг, 3,88 мг/кг) были обнаружены на рекультивированной территории и на склоне отвала фосфогипса. Сильно аномальные значения (31,52 мг/кг, 5,13 мг/кг, 4,42 мг/кг, 6,22 мг/кг) были выявлены на хвостохранилище и на рекультивированной территории.

Большинство полученных значений **Cr** были относятся к фоновым, из них преобладающая часть – к рекультивированным территориям. Аномальные значения (1,18 мг/кг, 1,22 мг/кг, 1,39 мг/кг) были выявлены в лесной экосистеме и на рекультивированной территории. Сильно аномальные значения (11 мг/кг, 4 мг/кг, 2, 32 мг/кг) были обнаружены на хвостохранилище, рекультивированных территориях и лесной экосистеме.

Большинство полученных значений **Cu** относятся к фоновым, преобладающая часть из которых – к рекультивированным территориям. Сильно аномальное значение (12, 21 мг/кг) было выявлено на хвостохранилище. Аномальных значений не выявлено.

Большинство полученных значений **Fe** относится к фоновым, преобладающая часть из которых – к рекультивированным территориям. Аномальные значения (524 мг/кг, 515 мг/кг, 602 мг/кг, 564 мг/кг, 643 мг/кг, 661 мг/кг) были выявлены на рекультивированной территории, в болоте и в лесной экосистеме. Сильно аномальные значения (1210 мг/кг, 831 мг/кг, 2080 мг/кг) были обнаружены в лесной экосистеме.

Большинство полученных значений **Mn** относятся к фоновым, преобладающая часть из которых – к условно – фоновой территории (лесной экосистеме). Аномальные значения (300 мг/кг, 353 мг/кг, 321 мг/кг) и сильно аномальное значение (432 мг/кг) были обнаружены на рекультивируемой территории.

Большинство полученных значений **Ni** относится к фоновым, преобладающая часть из которой – к рекультивированной территории. Аномальное значение (1,48 мг/кг) было обнаружено на рекультивированной территории. Сильно аномальные значения (4мг/кг,19 мг/кг, 2,82 мг/кг) были выявлены на отвале фосфогипса, на плакоре хвостохранилища и на условно-фоновой территории.

Большинство полученных значений **Pb** относятся к фоновым, из которых преобладающая часть – к рекультивированным территориям. Аномальные значения (4,73 мг/кг, 4,95 мг/кг, 5, 37 мг/кг, 4,99 мг/кг) были выявлены на рекультивированной территории, на болоте и в лесной экосистеме. Сильно аномальные значения (34 мг/кг, 10 мг/кг, 11 мг/кг, 6, 82 мг/кг) были обнаружены на хвостохранилище и на рекультивированной территории.

Большинство изученных значений **Sr** относится к фоновым, преобладающая часть из которых относится к лесной экосистеме и к рекультивируемым территориям. Аномальное

значение (30 мг/кг) обнаружено на борту хвостохранилища. Сильно аномальные значения (53 мг/кг, 377 мг/кг, 263 мг/кг) выявлены на хвостохранилище и отвале фосфогипса.

Большинство изученных значений **V** относится к фоновым, преобладающая часть из которых – к рекультивированным территориям. Аномальное значение (1,17 мг/кг) выявлено на отвале фосфогипса. Сильно аномальные значения (2,38 мг/кг, 12 мг/кг, 10 мг/кг) обнаружены на отвале фосфогипса и на условно-фоновой территории.

Большинство изученных значений **Zn** относится к фоновым, преобладающая часть из которых – к рекультивированным территориям. Аномальные значения (27 мг/кг и 26 мг/кг) обнаружены на условно – фоновой территории и рекультивируемой территории. Сильно аномальные значения (30 мг/кг, 37 мг/кг, 33 мг/кг) были выявлены на техногенных объектах.

При проведении исследования было выявлено, что большинство полученных значений подвижных форм ТМ относится к фоновым, из них преобладающая их часть расположена на рекультивированных отвалах вскрышной породы (табл.7), кроме следующих элементов: Cd, Mn, Sr, для них характерно накопление в лесной экосистеме. Преобладающая часть аномальных значений выявлена на рекультивированных отвалах вскрышной породы, кроме Cr, Fe Pb, для которых характерно преобладание в лесной экосистеме (Cr, Pb) и в болоте (Fe). Большинство сильно аномальных значений расположено на техногенных объектах, кроме Ba (в лесной экосистеме и Cd, Mn, Pb (на рекультивированных отвалах вскрышной породы).

Таблица 7. Превышение фоновых значений по типам объектов

	Условно-фоновая			Рекульт. отвал вскрыш ных пород	Техногенные объекты			Всего
	Лесная экосис тема	Болот о	Всего		Отвал фосфогип са	Хвосто хранил ище	Всего	
Ниже фона	45	42	38	34	32	29	27	23
Фон	170	7	177	321	38	11	49	547
Аномальные	4	0	4	4	1	1	2	10
Сильно аномальные	3	0	3	4	14	0	14	21

Так, воздействие предприятия по производству фосфорных удобрений проявляется в загрязнении почв Cd, Ni, Pb, Sr, V, Zn. Это можно отметить по наибольшему их содержанию на техногенных объектах, в превышении фоновых значений в гумусовом (Sr, Zn) и иллювиальном (Sr, Pb, V) горизонтах почвы, превышении ПДК по Ni, Pb, Zn.

#### 4.3.3. Влияние предприятия по производству фосфорных удобрений на содержание макроэлементов в почве

На расстоянии около 1 км от фосфогипса наблюдается содержание как водорастворимых, так и кислотно растворимых фторидов. Наиболее близкая к отвалам зона (менее 50 метров) является наиболее загрязненной, здесь наблюдается наибольшее содержание подвижных, растворимых в воде соединений фтора, на расстоянии около 200 метров их содержание уменьшается, но в радиусе до 500 метров содержание фторидов превышает фоновые значения в несколько раз (Плеханова, 2014). Фтор является самым сильным окислителем и крайне химически активным неметаллом, реагируя с органическими веществами, фториды могут образовывать токсичные и канцерогенные фторорганические соединения (Жукова, 2017). Он имеет высокую реакционную способность и повышенную биофильность, ярко проявляет свои полезные и вредные свойства (Никифорова, Варданян, 2021). Среди элементов, способных иммобилизовать фториды в почве, особую роль играет Са, миграционная способность фтора F почвах в первую очередь лимитируется содержанием обменного кальция, так как Са может связывать F при образовании труднорастворимого соединения  $\text{CaF}_2$ . На миграционные способности фтора в кислых почвах влияет содержание аморфного алюминия, Fe, Cr, гранулометрический состав почв (чем тяжелее, тем меньше доля Fподв. в Fвал.), адсорбционной способности положительно заряженных ионов. Адсорбция фтора минеральными компонентами максимальна в интервале от 6 до 7 pH. Наиболее подвержены опасности загрязнения фтором дерново-подзолистые почвы. Основные пути деградации почвы под воздействием фторидов: угнетение биохимических реакций, усиление эмиссии  $\text{CO}_2$  (дыхания почвы); нарушение азотного режима почв, изменение состава ППК, вытеснение кальция и магния из его состава, что приводит к увеличению степени ненасыщенности почвы основаниями, повышение pH почвенного раствора (Жукова, 2017).

Для выполнения оценки воздействия предприятия ООО «ПГ «Фосфорит» на содержание в почве макроэлементов были использованы статистические методы. Так, было рассчитано среднее содержание макроэлементов почве, их максимальное и минимальное значение, дисперсия (табл.8), исследовано изменение содержания макроэлементов в почве в зависимости от удаленности от отвала фосфогипса, по его склону и на борту хвостохранилища, а также по почвенному профилю, найден локальный геохимический фон и были сравнены полученные значения содержания макроэлементов в почве со значениями ПДК/ОДК в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 и найденным локальным геохимическим фоном.

При расчете средних содержаний макроэлементов аномальные значения не учитывались у  $\text{K}^+$  (562 мг/кг, 475 мг/кг, 455 мг/кг),  $\text{Na}^+$  (138 мг/кг, 77 мг/кг),  $\text{NH}_4^+$  (345 мг/кг),  $\text{NO}_3^-$  (34220

мг/кг, 25587 мг/кг, 51411 мг/кг), **S** (16600 мг/кг, 16900 мг/кг, 11500 мг/кг). Данные значения не брались при расчете дисперсии. При учете аномальных значений среднее содержание будет равно для **K<sup>+</sup>** = 81 мг/кг, **Na<sup>+</sup>** = 10 мг/кг, **NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** = 22 мг/кг, **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** = 4765 мг/кг, **S** = 1182 мг/кг.

Таблица 8. Данные по содержанию макроэлементов в почве, мг/кг

Название элемента	Среднее мин. – макс.	Дисперсия	Медиана
Cl <sup>-</sup> (n = 31)	<u>26</u> 7 – 68	191	22
F (n=45)	<u>825</u> 114 - 2860	478891	600
K <sup>+</sup> (n = 33)	<u>45</u> 3 – 562	1944	36
Na <sup>+</sup> (n = 31)	<u>6</u> 0,55 – 138	56	4
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (n = 46)	<u>15</u> 0,96 – 345	384	9
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (n = 40)	<u>2511</u> 9-51411	5835502	2960
P (n=45)	<u>3897</u> 114 – 2860	16014507	2376
	<u>115</u> 2,5 – 17908	20707022	49

Наибольшее значение **Cl<sup>-</sup>** и **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** было обнаружено на рекультивированном отвале вскрышных пород в реплантоземе на расстоянии 2 км от отвала фосфогипса, а наименьше – на отвале фосфогипса. Наибольшее значение **Na<sup>+</sup>** было установлено на отвале фосфогипса, а наименьшее – в лесной экосистеме в дерново-подбуре на расстоянии 4 км от отвала фосфогипса. Наибольшее значение **NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** и **K<sup>+</sup>** было выявлено на рекультивированном отвале вскрышных пород в реплантоземе на расстоянии 2,6 км от отвала фосфогипса, а наименьшее – в лесной экосистеме в литеземе серогумусовом на расстоянии 2 км от отвала фосфогипса и в дерново-подбуре на расстоянии 4 км от отвала фосфогипса. Содержание всех перечисленных макроэлементов распространено по всей территории равномерно.

Наибольшее содержание **F** выявлено на отвале фосфогипса, а наименьшее - в лесной экосистеме в дерновом-подбуре иллювиально-гумусовом грубогумусированном на расстоянии 4 км от отвала фосфогипса. Для него выявлена закономерность в уменьшении содержания при удалении от отвала фосфогипса (рис. 17).

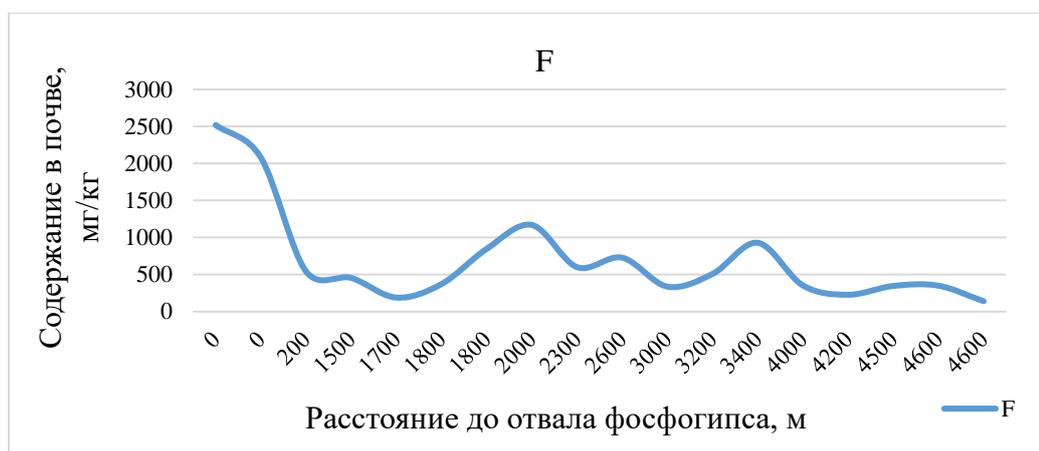


Рисунок 17. Изменение содержания F от расстояния до отвала фосфогипса

Наибольшая концентрация P отмечена на рекультивируемой территории в реплантоземе на расстоянии 700 метров от отвала фосфогипса, а наименьшая – в лесной экосистеме в глееземе серогумусовом на расстоянии 4,5 км от отвала фосфогипса. Для P выявлена закономерность в уменьшении содержания при удалении от отвала фосфогипса (рис. 18).

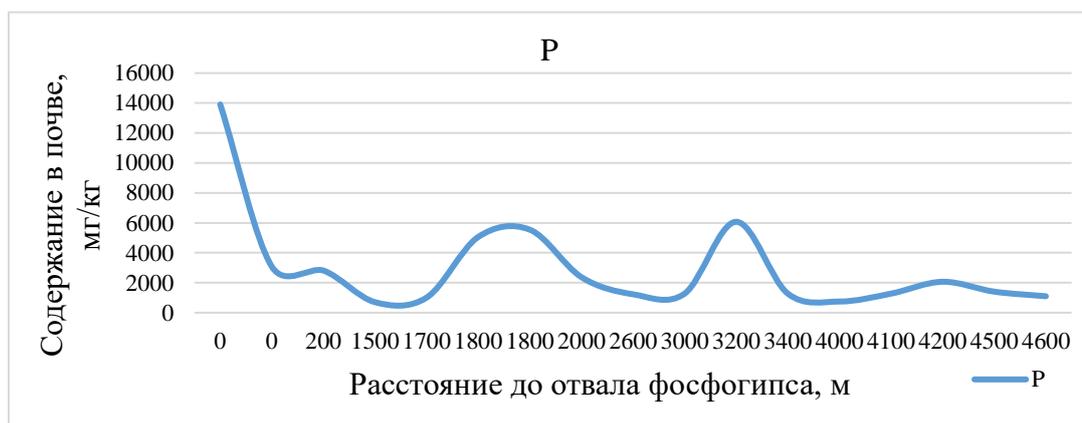


Рисунок 18. Изменение содержания P от расстояния до отвала фосфогипса

Наибольшее содержание S выявлено на плакоре хвостохранилища, а наименьшее – в лесной экосистеме в глееземе серогумусовом на расстоянии 4,6 км от отвала фосфогипса. Для нее выявлена закономерность в уменьшении содержания при удалении от отвала фосфогипса (рис. 19).

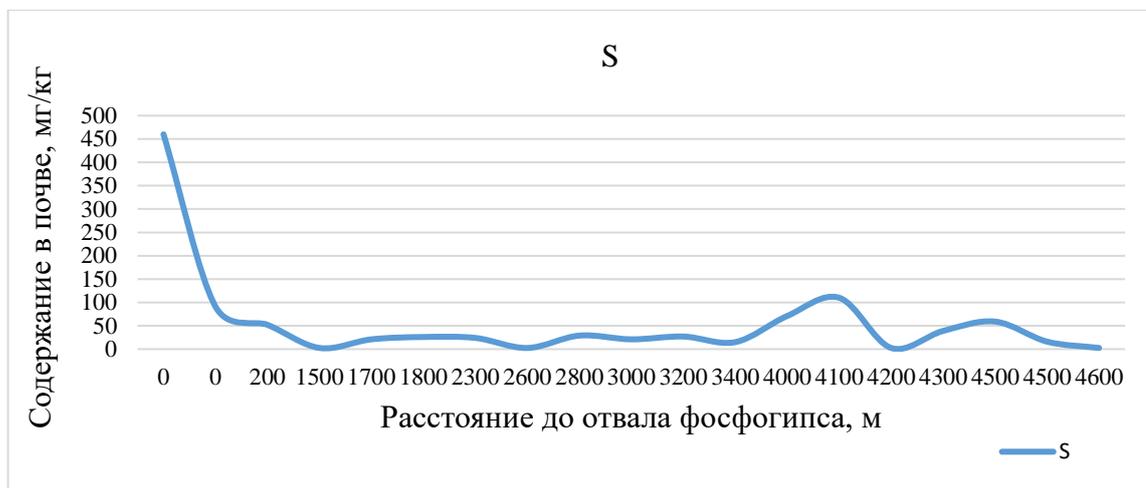


Рисунок 19. Изменение содержания S от расстояния до отвала фосфогипса

Для **F**, **P**, **S** выявлено наибольшее содержание на техногенных объектах по сравнению с условно-фоновой и рекультивированной территориями (рис. 20). Это говорит о загрязнении территории предприятием данными элементами.

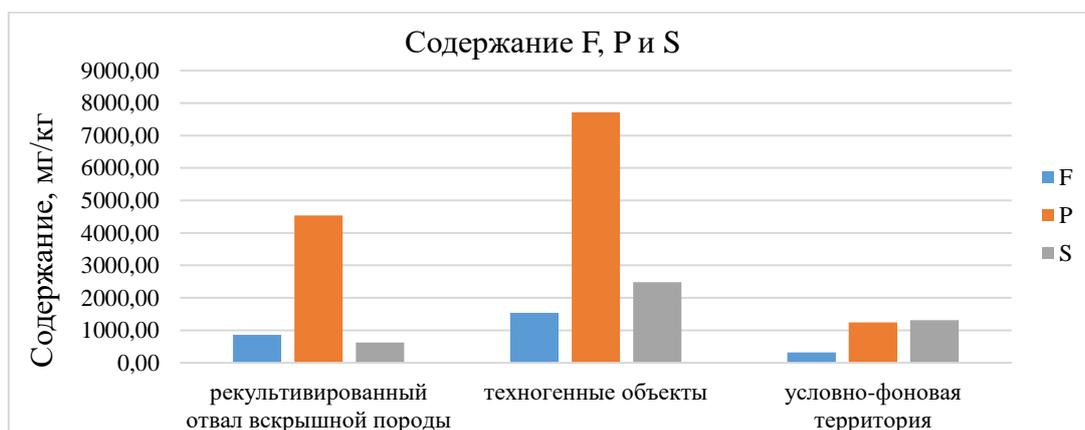


Рисунок 20. Содержание валовых F, P и S в зависимости от типа территории

При миграции по склону отвала фосфогипса установлено, что концентрация **F** резко увеличивается на склоне (в 2 раза) и незначительно уменьшается к подножию, что говорит о преимущественном накоплении на склоне отвала фосфогипса. Для **Cl<sup>-</sup>** характерен неустойчивый характер накопления. Для **K<sup>+</sup>**, **Na<sup>+</sup>**, **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**, **NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** и **P** характерно накопление в более нижней части склона. Содержание **S** стремительно уменьшается от склона к подножию отвала (в 5 раз). При миграции от плакора к борту хвостохранилища было выяснено, что **Cl<sup>-</sup>** и **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** больше накапливаются на борту хвостохранилища, а **K<sup>+</sup>**, **Na<sup>+</sup>** и **NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** – на плакоре хвостохранилища, при исследовании радиальной миграции было выявлено, что для **K<sup>+</sup>**, **Na<sup>+</sup>** и **NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** характерно накопление в иллювиальном горизонте, для **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** - в органогенном.

При исследовании изменения содержания макроэлементов по почвенному профилю было выявлено, что на условно – фоновой территории накопление **Cl<sup>-</sup>**, **K<sup>+</sup>** и **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** преимущественно в иллювиальных и глеевых горизонтах. Накопление **F** в почвенном профиле выявлено в глеевом

горизонте. Накопление  $\text{Na}^+$  и  $\text{NH}_4^+$  преимущественно в горизонте АУ (серогумусовом). Накопление **Р** выявлено в серогумусовом горизонте при слабокислой реакции среды в почве, при увеличении значения рН и переходе к нейтральной реакции накопление происходит в глеевом горизонте почвы. При миграции **С** по почвенному профилю отмечается ее накопление и закрепление в верхних горизонтах.

При изучении изменения содержания макроэлементов по почвенному профилю на рекультивированных отвалах вскрышных пород, было установлено, что накопление  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{NH}_4^+$  наблюдается в глеевом горизонте,  $\text{NO}_3^-$  - в серогумусовом горизонте. При миграции по профилю почвы реплантозема (АУ – Е – ВНФ) было выявлено, что для  $\text{Cl}^-$  характерно преобладание на элювиальном горизонте, а для  $\text{K}^+$  и  $\text{NO}_3^-$  характерно накопление в серогумусовом горизонте (АУ), уменьшение в элювиальном (Е) и увеличение в иллювиальном (ВНФ). Для  $\text{NH}_4^+$  характерно уменьшение содержание по почвенному профилю.

При сравнении полученных значений содержания макроэлементов в почве с ПДК отмечается превышения по **С** (460 мг/кг, 2,9ПДК; 17800 мг/кг,111ПДК; 16 900 мг/кг, 105 ПДК; 11500 мг/кг,71ПДК; 230 мг/кг,1,43ПДК; 16600 мг/кг,103ПДК; 860 мг/кг,5ПДК; 570 мг/кг,3ПДК) на условно – фоновой территории, техногенных объектах и рекультивируемой территории. Наибольшее превышение установлено на хвостохранилище. Для сравнения фоновых значений со значениями содержания макроэлементов в почве также был рассчитан региональный геохимический фон (табл.9).

Таблица 9. Расчет регионального(локального) геохимического фона, аномального и сильно аномального содержания макроэлементов в почве, мг/кг

Название элемента	Региональный (локальный фон) (n=35)	Аномальное содержание (n=35)	Сильно аномальное содержание (n=35)
$\text{Cl}^-$	(12 - 40)	54	68
F (n=45)	(505 - 1145)	1465	1785
$\text{K}^+$	(0,91-89)	133	177
$\text{Na}^+$	(0,1 - 13)	21	28
$\text{NH}_4^+$	(0,1 - 34)	52	71
$\text{NO}_3^-$	(95 - 4926)	7342	9758
P (n=53)	(1434 -6360)	8823	11286
S (n=45)	(0,1 – 110)	166	222

При изучении содержания  $\text{Cl}^-$  в почве было выявлено, что большинство полученных значений относится к фоновым, из которых преобладающая часть – к условно – фоновой территории. Аномальное значение (68 мг/кг) обнаружено на рекультивированном отвале вскрышных пород. Сильно аномальных значений не выявлено.

Большинство полученных значений **F** относится к ниже фоновым, преобладающая часть из которых – к лесной экосистеме. Аномальные значения (1630 мг/кг и 1690 мг/кг) выявлены на рекультивируемой территории и на отвале фосфогипса. Сильно аномальные значения (2520 мг/кг, 2080 мг/кг, 2860 мг/кг, 2070 мг/кг, 2040 мг/кг, 2050 мг/кг) выявлены на рекультивируемой территории.

При изучении содержания **K<sup>+</sup>** было выявлено, что наибольшая часть значений относится к фоновым, из которых преобладающая часть – к условно – фоновой территории. Аномальные значения не обнаружены. Сильно аномальные значения (215 мг/кг, 475 мг/кг, 563 мг/кг, 455 мг/кг) установлены на хвостохранилище и на рекультивированных отвалах вскрышной породы.

При изучении содержания **Na<sup>+</sup>** было установлено, что большая часть полученных значений относится к фоновым, из которых преобладающая часть – к условно – фоновой территории. Аномальные значения (27 мг/кг, 22 мг/кг, 26 мг/кг) были выявлены на рекультивированной территории, хвостохранилище и в лесной экосистеме. Сильно аномальные значения (138 мг/кг и 77 мг/кг) были обнаружены на отвале фосфогипса и в лесной экосистеме соответственно.

При изучении содержания **NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** было установлено, что наибольшая часть полученных значений относится к фоновым, из которых большинство – к условно - фоновой территории. Аномальные значения отсутствуют. Сильно аномальные значения (345 мг/кг, 81 мг/кг, 86 мг/кг) были выявлены на рекультивированных отвалах вскрышной породы и на отвале фосфогипса.

При изучении содержания **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** было обнаружено, что большая часть исследованных значений относится к фоновым, из которых наибольшая часть – к условно – фоновой территории. Аномальное значение (7723 мг/кг) было выявлено на рекультивированном отвале вскрышных пород. Сильно аномальные значения (34220 мг/кг и 51411 мг/кг, 25587 мг/кг) были установлены на рекультивированном отвале вскрышных пород и на хвостохранилище.

Большинство полученных значений **P** относится к фоновым, преобладающая часть из которых – к рекультивируемой территории. Аномальные значения (10824 мг/кг, 9240 мг/кг, 9856 мг/кг) обнаружены на отвале фосфогипса и на рекультивируемой территории. Сильно аномальные значения (11924 мг/кг, 13904 мг/кг, 13376 мг/кг, 17908 мг/кг) выявлены на отвале фосфогипса и на рекультивируемой территории.

Большинство полученных значений **S** относится к фоновым, преобладающая часть из которых – к рекультивируемой территории. Аномальных значений не обнаружено. Сильно аномальные значения были на всех типах территории, наибольшее из них (17800 мг/кг) установлено на хвостохранилище.

Можно отметить, что большинство полученных значений содержания макроэлементов относится к фоновым, из которых подавляющая часть – к условно - фоновой территории.

Аномальные значения отсутствуют у  $K^+$ ,  $NH_4^+$ , а сильно аномальные – у  $Cl^-$ . Аномальные и сильно аномальные значения у  $F$  и  $P$  относятся к рекультивируемым территориям и отвалу фосфогипса. Наибольшее количество аномальных и сильно аномальных значений было зафиксировано на рекультивируемой территории в реплантоземе на расстоянии 2 км и 2,6 км от отвала фосфогипса, на борте хвостохранилища в подбуре иллювиально-гумусовом глееватом на расстоянии 1,8 км от отвала фосфогипса, на плакоре хвостохранилища в реплантоземе на расстоянии 600 метров от отвала фосфогипса.

Так, воздействие предприятия по производству фосфорных удобрений на почвенный покров проявляется в загрязнении  $F$ ,  $Cd$ ,  $Ni$ ,  $P$ ,  $Pb$ ,  $S$ ,  $Sr$ ,  $V$  и  $Zn$ . Это можно отметить в закономерности уменьшения их содержания при увеличении расстояния от отвала фосфогипса ( $F$ ,  $P$ ,  $S$ ,  $Sr$ ), наибольшему их содержанию на техногенных объектах, превышении фоновых значений в гумусовом ( $Sr$ ,  $Zn$ ) и иллювиальном ( $Pb$ ,  $Sr$ ,  $V$ ) горизонтах почвы. Также воздействие проявляется в превышении ПДК по  $Ni$ ,  $Pb$ ,  $S$  и  $Zn$ , большинство которых отмечено в реплантоземах на рекультивированных отвалах вскрышной породы на разном расстоянии от отвала фосфогипса (рис. 21). Наибольшее превышение отмечается по  $S$  на хвостохранилище (в 111 раз).

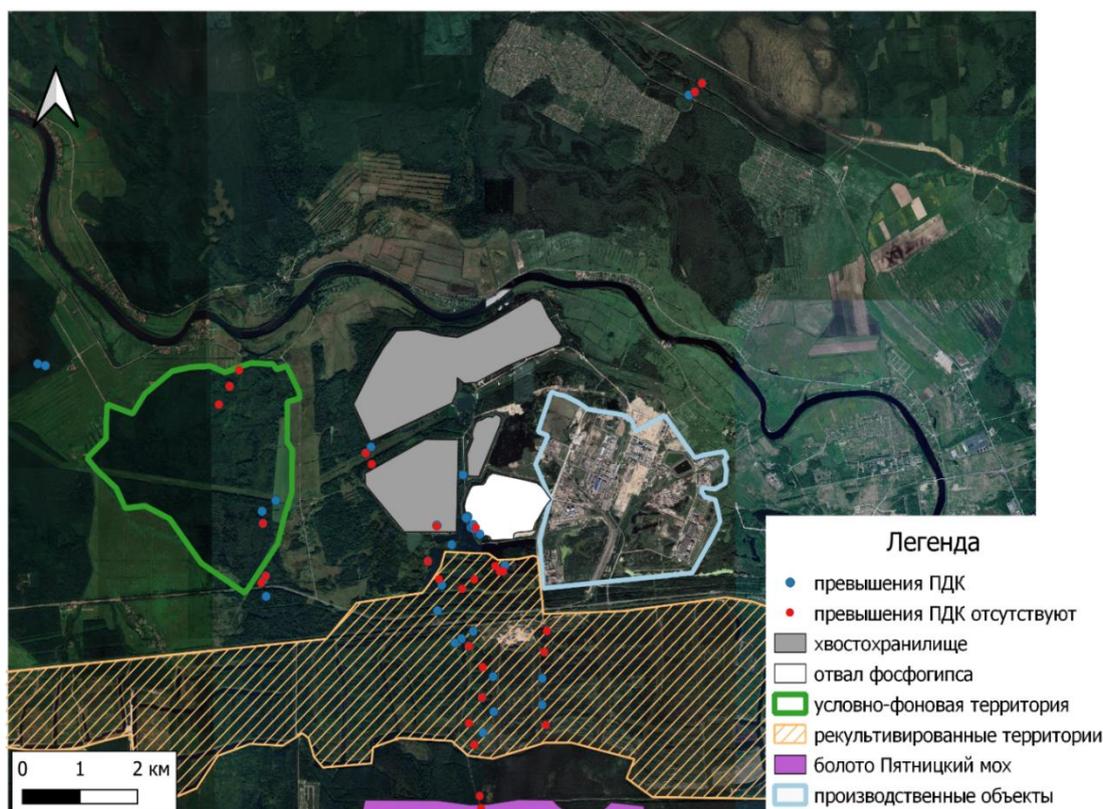


Рисунок 21. Точки с превышением ПДК

Воздействие предприятия проявляется в обнаружении аномальных и сильно аномальных значений на всех исследуемых объектах. Это можно увидеть на карте (рис. 22), где видно, что аномальные и сильно аномальные значения обнаружены на всей исследуемой территории, в

большей части – на отвале фосфогипса, хвостохранилище и в более близким к ним территориям (до расстояния 2600 км от отвала фосфогипса). Также повышенные значения установлены в точках, расположенных около проезжей части. Это говорит о загрязнении почв предприятием ООО «ПГ «Фосфорит».

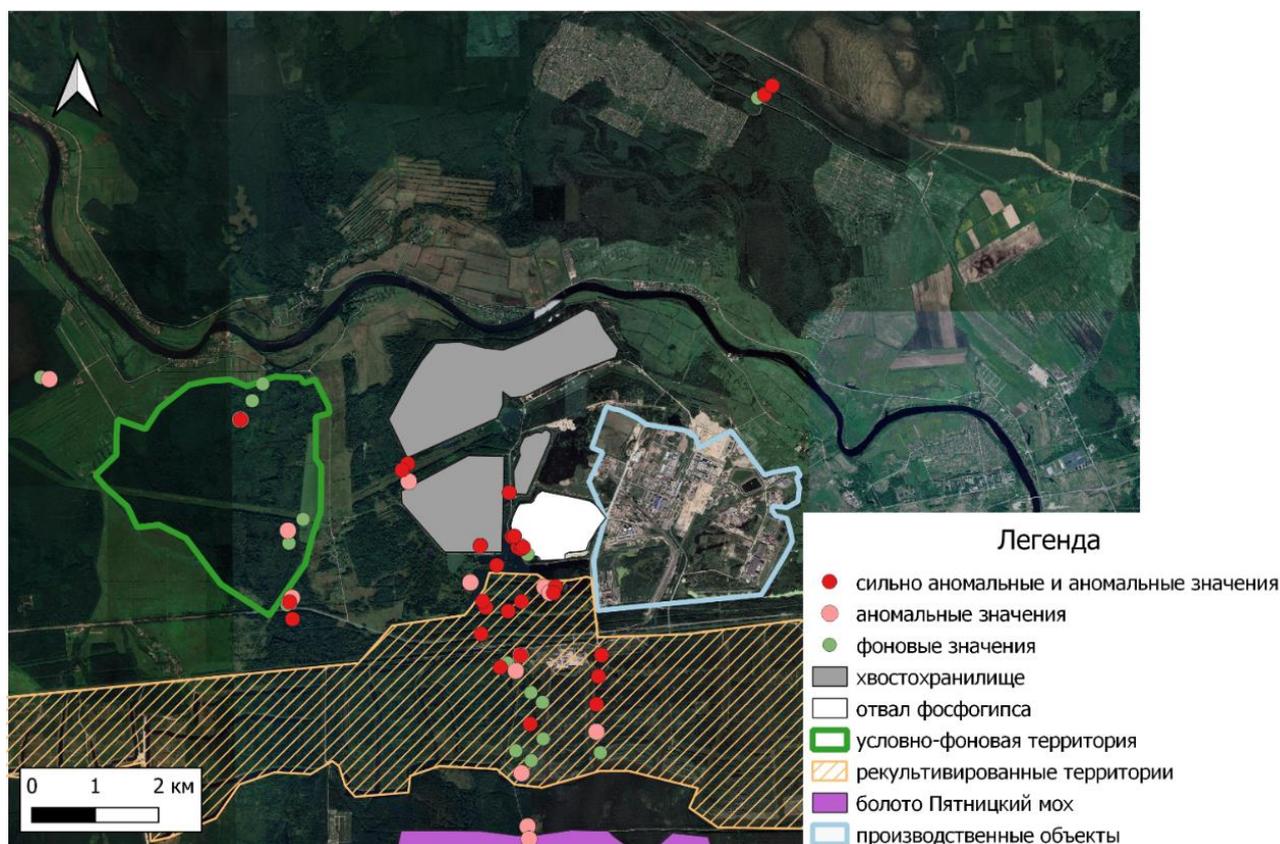


Рисунок 22. Сильно аномальные, аномальные и фоновые значения

Также можно отметить, что при развеивании фосфогипса ветром, а также его растворении атмосферными осадками, загрязняются почвы, подземные и поверхностные воды, создается повышенный радиационный фон. Так, наблюдается превышение удельной плотности загрязнения за счет К-40 (Самонов, 2007). Также загрязнителями почв являются природные долгоживущие радионуклиды —радий и торий. Калий и торий характеризуются наибольшей парной корреляционной зависимостью, что указывает на одинаковый, постоянно действующий источник их привноса. Кроме того, для них характерна слабая геохимическая подвижность в сопряженных ландшафтах, так как они фиксируются в верхних органических почвенных горизонтах.

При рассмотрении биологических показателей почвы, можно отметить, что на расстоянии около 500 метров от отвала фосфогипса наблюдается минимальное количество углерода микробной биомассы и высокий уровень удельного дыхания (микробного метаболического коэффициента), что говорит о повышенном уровне стресса микробного сообщества, это может

быть связано со вторичным загрязнением почвы при пылевой эмиссии поллютантов с объекта складирования отходов (Жукова, 2015). Низкий уровень удельного дыхания наблюдается в устойчивых сообществах. Повышенное содержания в почвах фосфора, фтора и стронция приводит к деградации и гибели растительного покрова, а также к стрессу микробного сообщества в почвах.

#### **4.4. Влияние предприятия по производству фосфорных удобрений на растения**

Основное значение стронция для растений заключается в том, что он может конкурировать с кальцием при поглощении из почвы и накапливаться в растениях. Из растений стронций попадает в организм животных, где его повышенное содержание ведёт к возникновению заболеваний опорно-двигательной системы (Муравьев, 2007).

При уровне содержания подвижного фосфора более 800 мг/кг наблюдается токсическое действие на растение (Плеханова, 2014), у них начинает снижаться корневая масса, при содержании 1600 мг/кг снижаются основные показатели начального развития проростков, замедление роста их корневой системы, в ряде случаев возможно отмирание корня, что ведет к уменьшению числа биомассы (Экотоксикологическая оценка..., 2009). Присутствие фосфатов тяжелых металлов в почвах является губительным для растительности, почвенной фауны и микроорганизмов, сульфаты и фульвокислоты тяжелых металлов могут мигрировать на значительные расстояния по вертикали и латерали, загрязняя почвенные, подземные и поверхностные воды. Совместное нахождение в почвах техногенных ландшафтов тяжелых металлов, фосфора, фтора, серы и органического вещества обуславливает синергетический эффект долговременного загрязнения окружающей среды и ее отдельных компонентов (Самонов, 2008).

Также отмечается низкая доступность соединений фтора при влиянии на растения фтора в составе фосфогипса. Высокие содержания фтора наблюдаются только в растениях импактной зоны, а также в буферной зоне, которая была выделена визуально по отсутствию признаков угнетения растений на расстоянии 200 м от отвала фосфогипса (Плеханова, 2014). Различные группы растений неодинаково реагируют на содержание фтора в окружающей среде. Так, к накоплению предрасположены полукустарнички, грубое разнотравье, мхи и лишайники. Фтор влияет на метаболизм растений, может вызвать снижение темпов поглощения кислорода, расстройство респираторной деятельности, снижение ассимиляции питательных веществ (Давыдова, 2018). При увеличении концентрации фтора снижается размер и фертильность пыльцы (Каренгина, Беличев, 2020). Также стоит отметить, что при одновременном воздействии

стронция и фтора на живые организмы эти элементы по отношению друг к другу проявляют антагонистические свойства (Жукова, 2017)

Из-за выбросов завода, с которыми в атмосферу попадают аммиак, пары серной кислоты, сернистый ангидрит, происходит деградация древостоя на расстоянии до 2,5 км. При этом значительная деградация, проявляющаяся в массовой гибели популяции сосны, обнаруживается на расстоянии 0,8–1,2 км (Шершнева, 2016). При воздействии загрязненных поверхностных и грунтовых вод в зоне влияния отвалов фосфогипса на луговые экосистемы отмечается снижение общего проективного покрытия растительного покрова, уменьшение видового разнообразия, изменение доли луговых видов в фитоценозе (Гусев, Шпилевская, 2020).

## Заключение

Таким образом, было изучено загрязнение компонентов природной среды в районе воздействия предприятия ООО «ПГ «Фосфорит», которое находится в Кингисеппском районе Ленинградской области. Данный район расположен на Ордовийском плато в области умеренно – континентального климата с достаточным. В районе протекают реки Навра, Луга, Систа и Россонь, а также выделяется 11 озер. Для Кингисеппского района характерны коренные: сосновые зеленомошные и лишайниковые леса, сосновые долгомошные и сфагновые заболоченные леса.

На территории Кингисеппской области выделяются 7 типов почв: слабо и среднеподзолистые, дерново-карбонатные, болотные и торфяные, дерново-подзолистые, глееземы, петроземы гумусовые, литоземы серогумусовые. В районе предприятия ООО «ПГ «Фосфорит» выделяются следующие типы почв: агрозем альфагумусовый глеевый, глеезем серогумусовый, дерново-подбур, дерново-подбур – иллювиально – глеевый, дерново-подбур-иллювиально-железистый, дерново-подзолистая, литозем серогумусовый, олиготрофно-торфяная почва, перегнойно-глеевая, реплантозем, торфяная.

В процессе исследования на территории были выделены техногенные объекты (хвостохранилище, отвал фосфогипса), условно - фоновая территория (лесная и болотная экосистемы), рекультивированный отвал вскрышной породы. Были проанализированы 79 проб почвы на содержание подвижной формы ТМ, изучено содержание макроэлементов в 35 пробах.

На состояние атмосферного воздуха влияют выбросы через дымовые трубы и аспирационные установки предприятия, которые содержат в себе серный ( $\text{SO}_3$ ) и сернистый ( $\text{SO}_2$ ) ангидрид, F (в виде фторводорода (HF) и фторсодержащих солей). К основным компонентам, загрязняющим р. Лугу в результате воздействия ООО «ПГ «Фосфорит» относятся сульфаты, фосфаты, фториды, азотные соединения. Состояние реки Луги характеризуется как «загрязненная», превышение наблюдались по ХПК, азоту нитритному,  $\text{Fe}_{\text{общ}}$ , Cu, Zn и Mn.

При повышении содержания Sr в почве снижается отношение Ca/Sr, что негативно влияет на растения. Из-за выбросов производства происходит деградация древостоя на расстоянии до 2,5 км. При одновременном воздействии Sr и F на живые организмы эти элементы по отношению друг к другу проявляют антагонистические свойства. Повышенное содержания в почвах P, F и Sr приводит к стрессу микробного сообщества в почвах, наблюдается токсическое действие на растения.

В почвах, образованных вблизи техногенных объектов и рекультивированного отвала вскрышной породы, наблюдается нейтральная и слабощелочная среда, для условно-фоновой территории характерна кислая среда. Зависимость в изменении содержания ТМ в почве от

расстояния до отвала фосфогипса характерна для Sr, для которого характерно уменьшение содержания при удалении от отвала фосфогипса. Данная закономерность также характерна для F, P и S. Для  $Cl^-$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ , а также подвижных форм тяжелых металлов характерно равномерное распределение по территории. При миграции от вершины отвала фосфогипса к подножию наблюдается увеличение содержание подвижных Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, и V, то же характерно для  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$  и P. При миграции по почвенному профилю подвижных ТМ в большинстве случаев выявлено, что накопление в иллювиальном и глеевом горизонтах характерно для Ba, Fe, Sr, для остальных – верхнем горизонте почвы.

При исследовании изменения содержания подвижных ТМ выявлено, что на техногенных объектах преобладают Cd, Ni, Pb, Sr, V, Zn, на условно - фоновой территории – Fe и Cu, на рекультивируемых территориях – Mn. Характерно преобладающее содержание F, P, S на техногенных объектах.

Большинство превышений ПДК было отмечено в реплантоземах на рекультивированных отвалах вскрышной породы на разном расстоянии от отвала фосфогипса. Выявлены превышения у подвижных форм Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, а также у S, наибольшее из которых отмечается у S (превышение ПДК в 111 раз).

При расчете локального геохимического фона было установлено, что большинство полученных значений ТМ и макроэлементов относится к фоновым. Аномальные и сильно аномальные значения обнаружены на всех исследуемых объектах, в большей части – на отвале фосфогипса, хвостохранилище и в более близким к ним территориям (до расстояния 2600 м от отвала фосфогипса). Также повышенные значения установлены в точках, расположенных около проезжей части. Отмечены превышения фоновых значений в гумусовом (Sr, Zn) и иллювиальном (Pb, Sr, V) горизонтах почвы, что говорит о их загрязнении.

Так, можно сделать вывод, что преобладающее загрязнение проявляется в радиусе 2,6 км от отвала фосфогипса и проявляется в сильно аномальном и аномальном содержании в почве основных загрязняющих веществ (Cd, F, Ni, P, Pb, S, Sr, V, Zn), превышении ПДК, подщелачивании почв, а также в результате этого загрязнении компонентов природной среды (поверхностных вод, атмосферного воздуха) и угнетении растений.

## Литература

1. 30 главных рек Ленинградской области [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://must-see.top/reki-leningradskoj-oblasti/> (дата обращения:08.11.21)
2. Аммофоска универсал//справочник Пестициды.ru [Электронный ресурс] Режим доступа: Аммофоска универсал | справочник Пестициды.ru (pesticidy.ru) (дата обращения:15.11.21)
3. Атлас земель кингисеппского района Ленинградской области с элементами мониторинга окружающей среды [Электронный ресурс]/2015//Режим доступа: Атлас земель Кингисеппского района Ленинградской области с элементами мониторинга окружающей среды (turbopages.org) (Дата обращения: 13.11.21)
4. Векшин, А.К. Воздействия прекращения горных пород на гидролого-гидрологические условия на территории 000 ПГ «Фосфорит»/А.К. Вершин //РГГМУ. - Санкт-Петербург,2019.-с.70
5. Вода России [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://water-ru.ru/Водные\\_объекты/1183/Нарва](https://water-ru.ru/Водные_объекты/1183/Нарва)(дата обращения: 08.11.21)
6. Геологическое строение Ленинградской области [Электронный ресурс] /2020// Режим доступа: [https://studopedia.ru/27\\_36618\\_glava--geologicheskoe-stroenie-leningradskoy-oblasti.html](https://studopedia.ru/27_36618_glava--geologicheskoe-stroenie-leningradskoy-oblasti.html) (Дата обращения: 12.11.21)
7. Гидрогеология СССР. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. – М: Недра,1967. – 328 с
8. Горлов, А. А., Кречетов, П. П., Рогова, О. Б. Изменение химического состава почв под влиянием фосфогипса/А.А. Горлов, П.П. Кречетов, О.Б. Рогова //XXIII Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов – 2016»– 2016. – С. 106-107.
9. Гусев, А. П., Шпилевская, Н. С. Фитоиндикаторы техногенного химического воздействия на луговые экосистемы/А.П. Гусев, Н.С. Шпилевская //Экосистемы. – 2020. – №. 22. – С. 53-59.
10. Давыдова, Н. Д. Биогеохимическая трансформация растительности степей в условиях атмосферного загрязнения/Н.Д. Давыдова //Природа Внутренней Азии. – 2018. – №. 2 (7). – С. 75-86.
11. ЕвроХим|АО «Еврохим – Северо-Запад»: официальный сайт [Электронный ресурс] Режим доступа: ЕвроХим Северо-Запад (eurochem.ru) (дата обращения:15.11.21)

12. Елсукова, Е.Ю., Недбаев, И.С., Кузьмина, Д.С. Загрязнение почв в зоне воздействия производства фосфорных удобрений/Е. Ю. Елсукова, И.С. Недбаев, Д.С. Кузьмина // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. – 2022. - №4
13. Елсукова, Е. Ю., Недбаев, И. С., Цывкунова, Н. В. Воздействие добычи фосфоритов на кислотно-основные свойства почв /Е.Ю. Елсукова, И.С.Недбаев, Н.В.Цывкунова// Выдержка из Экологическая деятельность и экологическое просвещение: региональный аспект. - Санкт-Петербург. 2020.-5 с.
14. Жукова, А. Д. Оценка экологического состояния почв на территории импактного влияния производства фосфорсодержащих минеральных удобрений: на примере ОАО" Воскресенские минеральные удобрения/А.Д.Жукова //Москва. – 2017.
15. Жукова, А. Д. Показатели микробного дыхания в почвенном покрове импактной зоны предприятия по производству минеральных удобрений / А. Д. Жукова, Д. М. Хомяков // Почвоведение. – 2015. – № 8. – С. 984.
16. Каниськин, М. А. Экологическая оценка почв и почвогрунтов, подверженных воздействию фосфогипса/М.А. Каниськин //Авт.. канд. дисс. М.-2011.-23 с. – 2011.
17. Каренгина, Л.Б., Беличев, А.А., Байкин, Ю.Л., Гусев, А.С. Воздействие поступления фтора на почвенные и растительные характеристики / Л. Б. Каренгина, А. А. Беличев, Ю. Л. Байкин, А. С. Гусев // Актуальные проблемы экологии и природопользования : Сборник статей по материалам IV Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Курган, 21 апреля 2020 года / Под общей редакцией И.Н. Миколайчика. – Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2020. – С. 110-114.
18. Классификация почв России: официальный сайт [Электронный ресурс] Режим доступа: Классификация почв России 1997 – 2004 – 2008 гг. (narod.ru) (дата обращения:13.11.21)
19. Климов, Г.И Основные особенности изменения качества природных вод отраслью производства фосфорных удобрений/ Климов, Г.И//Вопросы охраны и рационального использования вод суши. - 1985.-№ 89(межвузовский). -с. 17-22
20. Концепция социально-экономического развития территории Кингисеппского муниципального района на 2008-2012г. [Электронный ресурс]/2007//Режим доступа: <https://refdb.ru/look/1441937-p2.html> (Дата обращения: 08.11.21)
21. Кушнир, Е. А. Оценка состояния лесных насаждений и почвенного покрова на участках рекультивации Кингисеппского месторождения фосфоритов / Е. А. Кушнир, И. С. Недбаев, Э. И. Трещевская // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2021. – № 1. – С. 68-80

22. Ларионова, Н. А. Влияние отвалов фосфогипса на загрязнение окружающей среды/Н.А. Ларионова //ББК 26.3 (4Беи) я43 П78. –2018.- С. 220
23. Муравьев, Е. И. Влияние отходов химического производства на загрязнение окружающих ландшафтов / Е. И. Муравьев, И. С. Белюченко// Экологический вестник Северного Кавказа. – 2007. – Т. 3. – № 4. – С. 77-86.
24. Нестеров, Е.М., Соломин, В.П., Дзюба, О.Ф. Природа Санкт – Петербурга: Книга для детей и родителей. - СПб.: ТЕССА,2006.- 156с.
25. Никифорова, В. А. Химические и эколого-биологические особенности фтора в окружающей среде / В. А. Никифорова, М. А. Варданян, С. Ф. Лапина // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2021. – Т. 1. – С. 245-250.
26. ООО «ПГ «Фосфорит». Фосфорные удобрения и кормовые фосфаты [Электронный ресурс] Режим доступа: Фосфорные удобрения и кормовые фосфаты - Заказать, купить (prom-rus.com) (дата обращения: 07.02.2022)
27. Об экологической ситуации в Ленинградской области в 2020 году.-Санкт-Петербург. - 2021. - с.263
28. Опекунова, М. Г., Арестова, И.Ю., Елсукова, Е. Ю., Шейнерман, Н.А. Методы физико-химического анализа почв и растений/М.Г. Опекунова, И.Ю. Арестова, Е.Ю. Елсукова, Н.А. Шейнерман. – 2015.
29. Основы технологии фосфорных удобрений[Электронный ресурс]/2017//Режим доступа: Основы технологии фосфорных удобрений — Студопедия (studopedia.ru)(дата обращения:07.02.2022)
30. Особенности производства аммофоса [Электронный ресурс] Режим доступа: Особенности производства аммофоса (allbest.ru) (дата обращения :07.02.2022)
31. Отчет о научно-исследовательской работе «Обследование системы водопользования ООО «ПГ «Фосфорит» и разработка основных технических решений по реконструкции очистных сооружений». Разработано ОАО «НИИ ВОДГЕО». – М., 2009. – 136 с
32. Чепрасова, А.С., Грищенко, А.С., Новикова, Н.Г. и др. Оценка загрязненности почв фтором в зоне воздействия предприятия по производству минеральных удобрений (г. Воскресенск, Московская область) / А. С. Чепрасова, А. С. Грищенко, Н. Г. Новикова и др. // Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Киров, 04 декабря 2019 года. – Киров: Вятский государственный университет, 2019. – С. 223-227.

33. Пантелеева, Т.И. Оценка возможного влияния отходов производства удобрения на изменение качества подземных вод/ Пантелеева, Т.И // Вопросы охраны и рационального использования вод суши. -1985.-№ 89(межвузовский). - с.33-39
34. Петренко, Д. В. Влияние отходов Белореченского химзавода на содержание стронция в окружающих ландшафтах / Д. В. Петренко, И. С. Белюченко // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2012. – Т. 8. – № 1. – С. 4-79.
35. Петрова, Д. С., Ионова, М.Ю. Особенности оценки воздействия предприятий горно - промышленного комплекса на водные/ Петрова, Д. С., Ионова, М.Ю//Записки Горного института. -2007.-т.172.- с.210-213
36. Петров, А.С., Данилов, А.С. Оценка и анализ гидрохимического режима обводненных карьеров по добыче фосфоритовых руд/ Петров, А.С., Данилов, А.С.//Вода и экология: проблемы и решения. - 2020.-№3.-с.63-68
37. Плеханова, И. О. Влияние отходов производства фосфорных удобрений на экологическое состояние близлежащих территорий / И. О. Плеханова, Р. А. Аймалетдинов // Проблемы агрохимии и экологии. – 2014. – № 1. – С. 50-54.
38. Пляцук, Л. Д. и др. Системный подход к экологическому мониторингу в районе отвалов фосфогипса/Д.Л. Пляцук и др. – 2015.
39. Погода и климат. Климат Кингисеппа [Электронный ресурс] Режим доступа: Климат Кингисеппа - Погода и климат (pogodaiklimat.ru) (дата обращения:08.11.21)
40. Почвенно-географическая база данных России: официальный сайт [Электронный ресурс] Режим доступа: Информационная система «Почвенно-географическая база данных России» (soil-db.ru) (дата обращения:05.04.2022)
41. РУСПРОМ.ООО «ПГ «Фосфорит» [Электронный ресурс] Режим доступа: ООО «ПГ «Фосфорит» (prom-rus.com) (дата обращения:07.02.2022)
42. Самонов, А. Е. О некоторых проблемах, связанных с переработкой апатитов / А. Е. Самонов, Ю. В. Ваньшин // Южно - российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. – 2007. – № 2. – С. 7-9.
43. Самонов, А. Е. Экологическое воздействие хранилищ фосфогипса и пиритных огарков на среду обитания и перспективы их комплексной переработки с получением высоколиквидной товарной продукции / А. Е. Самонов, Г. Б. Мелентьев, Ю. В. Ваньшин // Экология промышленного производства. – 2008. – № 2. – С. 65-76.
44. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: санитарные нормы и правила: утвержден и введен в действие постановлением Главным

Российской Федерации от 28 января 2021 года N 2.

45. Состояние окружающей среды в Ленинградской области. - Санкт-Петербург. - 2019.- 528с.
46. Федеральный закон от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»;
47. Шершнёв, О. В. Оценка воздействия отходов фосфогипса на компоненты окружающей среды/О.В. Шершнев. – 2016.
48. Терехова, В.А., Домашнев, Д.Б., Каниськин, М.А., Степачев, А.В. Экотоксикологическая оценка повышенного содержания фосфора в почвогрунте по тест-реакциям растений на разных стадиях развития / В. А. Терехова, Д. Б. Домашнев, М. А. Каниськин, А. В. Степачев // Проблемы агрохимии и экологии. – 2009. – № 3. – С. 21-26.
49. Ющенко, И. С. Оценка влияния отвалов горнодобывающей и перерабатывающей промышленности на состояние геологической среды / И. С. Ющенко, А. И. Павловский //Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов : материалы Международной научно-практической конференции, Воронеж, 17–19 ноября 2020 года. – Воронеж: Истоки, 2020. – С. 96-101.
50. Яковлев, А. С. Экологическая оценка почвогрунтов, подверженных воздействию фосфогипса / А. С. Яковлев, М. А. Каниськин, В. А. Терехова // Почвоведение. – 2013. – № 6. – С. 737.
51. World Weather: прогноз погоды: официальный сайт [Электронный ресурс] Режим доступа: Архив погоды в Кингисеппе (Россия), климат по месяцам, роза ветров в в Кингисеппе (world-weather.ru) (дата обращения:18.02.2022)
52. Chernysh, Y et al. Phosphogypsum recycling: a review of environmental issues, current trends, and prospects/Y. Chernysh et al //Applied Sciences. – 2021. – Т. 11. – №. 4. – С. 1575.
53. Pérez-López, R. et al. Dynamics of contaminants in phosphogypsum of the fertilizer industry of Huelva (SW Spain): from phosphate rock ore to the environment/R. Pérez-López et al. //Applied Geochemistry. – 2010. – Т. 25. – №. 5. – С. 705-715
54. Rutherford, P. M., Dudas, M. J., Samek, R. A. Environmental impacts of phosphogypsum/ P. M. Rutherford, M. J. Dudas, R. A Samek //Science of the total environment. – 1994. – Т. 149. – №. 1-2. – С. 1-38
55. Tayibi, H., Choura, M., Lopez, F.A., Alguacil, F.J., Lopez-Delgado, A. Environmental impact and management of phosphogypsum/H. Tayibi, M. Choura, F. A. Lopez, F.J. Alguacil, A. Lopez-Delgado //J. Environ. Manag. -2009.- 90 (8). - 237–238.

56. Yang, F., Li, G., Shi, H. and Wang, Y. Effects of phosphogypsum and superphosphate on compost maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting/F. Yang, G. Li, H. Shi, Y.Wang//Waste Management.- 36. – 2015.- c. 70–76.

## Приложение

Таблица 1. Содержание макроэлементов в почве, мг/кг

№пробы	Cl	N03	NH4	K	Na
ФГ8	27,16	473,92	4,06	14,65	7,02
42	45,17	5141,13	1,42	12,92	0,95
81	41,18	473,92	26,60	36,93	26,27
7	35,84	3046,39	6,29	45,57	4,98
43	43,13	3228,78	4,43	13,47	2,39
52	17,11	9195,68	9,74	97,08	4,98
36	15,59	2558,75	4,84	38,52	5,77
74	51,89	5141,13	8,92	82,06	2,39
F9	34,22	5141,13	5,06	51,69	1,70
20	22,57	3228,78	13,81	124,91	2,91
82	47,30	1201,56	3,56	27,52	7,02
37	20,58	4576,71	0,96	97,08	2,77
8	12,38	1516,20	5,06	13,47	16,11
Ф7	7,44	421,89	86,53	114,84	138,48
23	41,18	34220,87	345,69	562,20	27,72
40	31,20	25587,53	34,12	475,22	22,80
73	68,48	51411,31	81,75	455,67	10,95
4	16,33	633,82	16,45	72,34	12,02
54	22,57	7723,72	2,02	35,41	1,47
П9	22,57	502,29	8,54	15,94	33,55
39	28,45	3046,39	13,22	6,60	1,10
38	24,76	5775,16	1,05	3,82	0,55
2	7,79	447,15	11,10	58,63	10,38
59	9,38	847,68	3,89	14,05	5,77
15	12,96	5775,16	2,02	13,47	0,67
75	20,58	3046,39	7,83	43,69	1,97
76	14,89	7287,42	1,85	14,65	0,74
6	17,11	4318,18	7,49	29,93	1,54
3	27,16	2149,17	27,78	215,69	3,06
5	22,57	1805,15	15,07	58,63	2,77
57	37,54	2874,31	17,95	53,91	1,54
80	21,55	502,29	4,24	7,80	77,02
41	31,20	3626,97	9,32	29,93	1,40
1	9,38	375,57	5,76	14,65	8,96
Ф8	6,48	633,82	4,24	8,85	2,51

Таблица 2. Содержание макроэлементов в почвах, мг/кг (в числителе — среднее значение, в знаменателе — минимальное — максимальное, n – общее количество проб)

Элемент	Условно-фоновая территория (n=13)	Рекультивированные отвалы вскрышной породы (n=21)	Техногенные объекты (n=13)	Среднее значение (n=47)	ПДК/ОДК	Медиана (n=47)
Na <sup>+</sup>	$\frac{13}{0,55-77}$	$\frac{5}{0,67-27}$	$\frac{21}{1,40-138}$	13	-	2
Cl <sup>-</sup>	$\frac{28}{12-47}$	$\frac{28}{9-68}$	$\frac{21}{7,44-34,22}$	26	-	22
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$\frac{2760}{473-5775}$	$\frac{6801}{27-51411}$	$\frac{5082}{9-25587}$	5208	-	2874
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	$\frac{6}{0,96-26}$	$\frac{32}{1,85-345}$	$\frac{24}{4-86}$	23	-	9
K <sup>+</sup>	$\frac{26}{3-97}$	$\frac{109}{13-562}$	$\frac{150}{11-475}$	92	-	36

