

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени
М.В.ЛОМОНОСОВА»

ФАКУЛЬТЕТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ 06.03.02 «ПОЧВОВЕДЕНИЕ»

КАФЕДРА ГЕОГРАФИИ ПОЧВ

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА
«ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ В РАЙОНЕ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ»

Выполнила студентка
Нефёдова Наталья Андреевна

Научный руководитель:
д.б.н., профессор Терехова В.А.

Рецензент:
к.б.н., Евдокимова М.В.

Допущена к защите

Зав. кафедрой _____

Москва

2021

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
1.ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	5
1.1 Общая характеристика источников и уровня загрязнённости почв Среднего Урала	5
1.2 Углеродсодержащие препараты – агенты ремедиации почв при химическом загрязнении	8
1.2.1. Биоуголь.....	8
1.2.2. Гуминовые препараты.....	10
1.3 Фитотестирование экологического качества почв при химическом загрязнении.....	11
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	13
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ	13
2.1 Образцы почв.....	13
2.2 Углеродсодержащих препараты для ремедиации почв.....	15
2.3 Хроническое (вегетационное) фитотестирование	16
3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	18
3.1 Оценка фитотоксичности почв в градиенте удаленности от источника загрязнения	18
3.2 Влияние углеродсодержащих препаратов на фитотоксичность почв в градиенте удаленности от источника загрязнения.....	23
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	29
ВЫВОДЫ.....	31
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	32
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	32

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в результате активной деятельности индустриальных предприятий во многих регионах России обострились проблемы, связанные с неблагоприятным состоянием окружающей среды. Одной из основных задач современной практической экологии на протяжении нескольких десятилетий остается необходимость очистки почв и сопредельных сред от загрязнений тяжёлыми металлами.

Медеплавильная промышленность - мощный источник загрязнения природных ресурсов в Свердловской области (Уральский регион). Производственная деятельность в этом регионе, в первую очередь, отражается на состоянии водоемов и почв. Экотоксичное воздействие тяжёлых металлов на все природные объекты хорошо известно. Однако, вследствие неуклонно возрастающей техногенной нагрузки мониторинг экологического качества почв как основной компоненты экосистем, депонирующей загрязняющие вещества, не теряет актуальности. Для восстановления почв применяют традиционные и новые технологии, основанные на использовании продуктов «зеленой химии» и комбинированных биопрепаратов.

Гуминовые препараты, получаемые из разнообразного органического сырья, например, угля, торфа, относят к широко распространенным недорогим современным методам борьбы с деградацией почв. Производители гуминовых продуктов нередко заявляют об универсальности их действия как ремедиантов независимо от природных почвенных характеристик или уровня загрязнения. Отсутствие государственной системы сертификации гуминовых препаратов ведет к необходимости проверки их действия в конкретных почвенных условиях, причем, желательно в ускоренные сроки.

Применение биотестов рекомендовано нормативными документами для осуществления экологического контроля с целью ограничения пагубных воздействий на окружающую среду. Использование живых организмов диктуется их чувствительностью и большей информативностью в

демонстрации последствий патогенного воздействия на окружающую среду. Для оценки эффективности ремедирующих препаратов на загрязненные почвы применяется фитотестирование. Актуальность лабораторных методов фитотестирования заключается в скорости их проведения и экономичности.

Одной из важнейших проблем, связанных с охраной окружающей среды в Уральском регионе, является загрязнение почв выбросами предприятий тяжёлой промышленности. В частности, тяжёлыми металлами - сильными химическими загрязнителями, имеющими широкое распространение. Так как почвенный покров является качественным показателем степени антропогенного загрязнения, демонстрирующим показатели содержания токсикантов и иллюстрирующим их распределение,

Ввиду ежегодного увеличения техногенной нагрузки становится очевидной необходимость экологической оценки загрязнения почв в районе деятельности металлургического предприятия. Почвы опасной категории загрязнения тяжёлыми металлами, расположенные на небольшом удалении от Среднеуральского медеплавильного завода, не были в достаточной степени изучены. Исследования почв в градиенте загрязнения – пока не распространённый подход в анализе почв Уральского региона.

Цель работы – изучить влияние выбросов металлургического производства на загрязнение почв прилегающей территории и возможность восстановления их экологических функций по показателям развития тест-растений.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать фитотоксичность почв в градиенте удаленности от источника загрязнения тяжелыми металлами.
2. Сравнить ремедирующий эффект углеродсодержащих препаратов (лигногумата и биоугля по отдельности и совместно) методом хронического фитотестирования почвенных образцов в вегетационном эксперименте.

1.ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Общая характеристика источников и уровня загрязнённости почв Среднего Урала

Исторически Средний Урал – горнопромышленный регион, в котором проводят полный передел руд, получая сплавы и металлы. Здесь образованы кластеры горно-металлургических предприятий, интенсивно трансформирующих окружающую среду посредством загрязнения. Определённый ход геологического развития Уральской складчатой области стал следствием появления множества месторождений рудных полезных ископаемых. По сей день экономика региона базируется на переработке рудного сырья и разработке минеральных ресурсов, начавшихся три столетия назад (Семячков и др., 2007).

Исследуемый регион играет важную роль в экономике России. Среди регионов России Урал занимает 1-е место по развитию чёрной металлургии (35% от общероссийского выпуска продукции), 2-е место - машиностроения (18%) и электроэнергетики (15%), 3-е место - цветной металлургии (22%) и химической промышленности (15%). Недра богаты разнообразными полезными ископаемыми, что и обусловило развитие всех перечисленных отраслей (Мальцев и др., 2019). На советских плакатах можно было встретить такие слова: «Со дня основания металлургии Урал становится оружейной мастерской для русской армии». Несмотря на высокую экономическую эффективность, высокое развитие металлургической отрасли в Уральском регионе приводит к серьезным геоэкологическим проблемам, в частности, проблемам рационального использования и восстановления нарушенных земель (Шепель, 2019).

Получение металлов и сплавов в ходе горно-металлургического производства представляет собой весьма «грязный» процесс на каждой из стадий переработки минерального сырья. На это влияют как несовершенство технологического цикла, так и многокомпонентность перерабатываемых

материалов. В итоге окружающая среда активно пополняется загрязняющими веществами, в частности металлами (Семячков, 2003).

Металлургические комплексы – основной источник химического загрязнения почв. Тяжелые металлы, содержащиеся в промышленных выбросах, поступают в атмосферный воздух и в дальнейшем аккумулируются в почве. В результате формируются геохимические аномалии с накопленным загрязнением. В настоящее время проблема загрязненности земельных ресурсов Уральского региона стоит наиболее остро, что связано с многолетним воздействием предприятий горно-металлургического на экосистемы рассматриваемой территории. Атмосферные выбросы крупных металлургических предприятий формируют техногенные геохимические аномалии (Гревцев и др., 2015). Высокая степень загрязненности может привести к нарушению функционирования экосистем, вплоть до её деградации вблизи предприятия. Высокий уровень загрязнения в районе влияния промышленных предприятий производит не только прямое токсическое воздействие на здоровье человека, но и косвенное, осуществляемое путем миграции тяжелых металлов через трофическую цепь (Dudka et al., 1997).

Существуют такие источники загрязнения как автомобильные выхлопы, выбросы ТЭС, ТБО – это те отходы человеческой жизнедеятельности, которые не могут быть утилизированы природой, например, стекло, пластмасса, резина, а также материалы, которые могут разрушаться, но очень медленно.

Особенно заметно загрязнение почв, так как почвенная среда, являясь депонирующей, т.е. средой, в которой происходит аккумуляция веществ, поступающих из техногенных потоков поллютантов, испытывает значительную нагрузку (Гревцев и др., 2015). Длительное непрерывное поступление токсикантов промышленного происхождения в почву ведёт к формированию техногенных геохимических провинций с накопленным многолетним загрязнением. Все это подчеркивает необходимость изучения

загрязненности почвенного покрова для принятия мер по снижению токсической нагрузки на земельные ресурсы (Шепель, 2019).

Важная экологическая проблема – это образование антропогенного ландшафта вместо природного. Вообще под антропогенным ландшафтом подразумевают любое изменение природного ландшафта человеком. Все виды антропогенного ландшафта можно разделить на две категории.

Первая – это поля культурных растений, парки, лесополосы, и другие виды ландшафта, в которых сохраняются некоторые элементы естественного сообщества. Вред образования таких антропогенных ландшафтов заключается в снижении видового разнообразия данной территории. Например, там, где может быть разнотравье, теперь растёт один вид – пшеница, с незначительными примесями других видов. Но в этом случае сохраняются хотя бы некоторые члены сообщества.

Вторая группа – это насыпи, запруды, терриконы, карьеры, и т. д. При их образовании природные сообщества уничтожаются полностью, либо кардинально меняются.

На Урале слишком много экологических проблем, Средний Урал стал первым регионом в России, из которого люди уезжают только из-за неблагоприятной экологической обстановки.

К методам решения экологических проблем следует относить восстановление почвы.

Одним из основных мест отбора проб для данной работы послужила пострадавшая от длительного (более 80 лет) загрязнения территория вокруг Среднеуральского медеплавильного завода (N56°51'0,8" E59°54'25,6"), находящегося в 50 километрах от Екатеринбурга, возле города Ревда. Полиметаллическая пыль, содержащая Cu, Pb, Cd, Zn и диоксид серы – основные компоненты выбросов от плавильного завода (Prudnikova et al., 2020). Общий объем выбросов плавильного завода составил 350 000 тонн в год в 1975 году, но упал до 5 тонн в год в 2010 году (www.sumz.umn.ru). Хотя вредное воздействие и сократилось, ввиду сокращения количества выбросов,

нет свидетельств регенерации экосистем в сильно загрязнённых районах или понижения содержания металлов в верхнем слое почвы (Усольцев и др., 2012, Бергман, 2017).

1.2 Углеродсодержащие препараты – агенты ремедиации почв при химическом загрязнении

1.2.1. Биоуголь

Увеличение интереса к использованию биоугля в качестве улучшителя почв было спровоцировано изучением искусственных высокоплодородных почв Бразилии – Terra Preta (Hunt et al., 2010).

Посредством термического разложения биомассы в отсутствие окислительной среды при температурах от 400°C до 900°C получают биоуголь – конденсированный коксовый остаток, содержанием углерода в котором весьма высоко (Павлов, 2012). Сырьём для его получения выступают отходы агропромышленного и лесного комплексов, например, навоз, листья, солома, гречневая шелуха, низкотоварная древесина, навоз и т.п. (Разумов и др., 2015).

Технологии получения биоугля, исследование свойств образцов, полученных при разной температуре обжига, и методы его применения для увеличения плодородия изучают как в России, так и за рубежом. Но несмотря на это, в изучении данной темы ещё много открытых вопросов. Современное понимание влияния на почву высокозольных видов биоугля несовершенно ввиду отсутствия научных данных о долгосрочном воздействии на почву. (Hunt et al., 2010).

Биоуголь может обладать различными свойствами в зависимости от способа термической обработки и генезиса используемого сырья, что ведёт к дополнительному осложнению изучения его влияния на почву (Gashikovich et al., 2015).

Не все исследователи разделяют идею об однозначно положительном влиянии биоугля на почву при внесении из-за неоднородности его свойств (Соколик др., 2015). Также отмечается противоречивость имеющихся данных о его влиянии на свойства почвы (Рижия и др., 2015).

Биочар способен улучшать физико-химические свойства почвы, такие как водный режим и структуру, агрохимические качества, например, сорбцию питательных веществ, урожайность, плодородие, улучшать жизнедеятельность микробиоты и очищать почву от загрязнения, в том числе тяжёлыми металлами, посредством их фиксации в полиароматических соединениях. В более широком смысле внесение биоугля может влиять на уменьшение парникового эффекта благодаря секвестрации углерода в почве и снижения тем самым выделения CO_2 , а также более мощных парниковых газов N_2O и CH_4 (Кирюшина и др., 2020).

Однако, неспецифические адсорбционные свойства биоугля могут оказывать отрицательное воздействие на почву (Harris et al., 2020). Например, биочар может адсорбировать питательные вещества в почве, уменьшая их доступность для поглощения растениями (Wang et al., 2018). Более того, адсорбция большого количества питательных веществ может негативно сказаться на микробном разнообразии почвы и развитии растений. Замечено, что внесение биоугля может снизить доступность Mn и N , что в конечном итоге повлияет на развитие корней растений (Nelson et al., 2011).

Кроме того, внесение биоугля может оказывать влияние на разнообразие микробных сообществ, так как основными факторами, влияющим на микробное сообщество, являются количество водорастворимого углерода и соотношение C/N с применением биоугля. Кроме того, различные категории применения. Возможно улучшение или подавление жизнедеятельности микробных групп (Chen et al., 2017).

1.2.2. Гуминовые препараты

Важность гуматов в сельском хозяйстве известна уже из истории. Однако переход от общего уровня понимания к научному произошёл только в начале прошлого века, когда взятый из почвы гуминовый образец в виде растворимых солей натрия использовался для полива растений. После орошения образцом гидролизированных гуминовых солей растений наблюдался значительно ускоренный рост и развитие корневой системы (Левинский, 2000). Данный эксперимент показал, что путем преобразования природных гуминовых веществ в виде их натриевых (или калиевых) солей их биологическая эффективность увеличивается более чем в сто раз.

Массовое использование гуминовых препаратов в качестве «улучшителей почвы» обусловлено их благотворным влиянием на её состояние, рост и развитие растений. Это объясняется свойствами гуминовой кислоты, служащей источником обеспечения почвы макро и микроэлементами, нужными для поддержания жизнедеятельности растений (Ермагамбет и др., 2019).

Структура гуминовых веществ обуславливает их разнообразное влияние на почву. Гуминовые вещества: катализируют рост растений, активное развитие корневой системы, синтез ферментов, повышающих устойчивость растений к неблагоприятным стрессовым факторам; переносят ценные микроэлементы в растворимой форме; связывают загрязнение в нерастворимой форме; удерживают влагу; способствуют развитию почвенной микробиоты; усиливают действие удобрений и пестицидов; являются стимуляторами почвы и средством для внесения питательных веществ в растения (Burdick, 1973).

Экспериментальные данные свидетельствуют о более высокой проницаемости клеточных мембран в присутствии гуминовых веществ, что ведёт к росту объёмов поступления в неё фосфора, калия, азота, железа, и увеличению устойчивости растений к различным патогенным факторам:

заморозкам, засухам, пестицидам, высокому содержанию солей в почве (Грехова и др., 2014).

Обычно гуминовые препараты производятся из углефицированных материалов (бурого угля, леонардита, лигнита), из торфа и донных отложений (торфа, сапропеля, торфа в сочетании с сапропелем) (Якименко, 2011). Лигногумат же синтезируется в реакторе под воздействием температуры и давления из органических отходов (лигносодержащего растительного сырья, получаемого при производстве целлюлозы). В состав сырья изначально не входят гуминовые соединения, они образуются в реакторе.

Многочисленные производители гуминовых препаратов и их композиций с бактериальными или минеральными добавками, как правило, заявляют об универсальности их действия на разных типах почв и при разных уровнях химического загрязнения. Однако на практике это не всегда подтверждается. Поэтому важно при рекомендации для широкого применения иметь экспериментально доказанные эффекты по отношению к тем или иным почвам и условиям нарушенности.

1.3 Фитотестирование экологического качества почв при химическом загрязнении

Фитотестирование как способ оценки качества почв, широко применяется как в агроэкологических, так и в экотоксикологических исследованиях. Метод базируется на способности семян высших растений реагировать на внешнее химическое воздействие изменением интенсивности прорастания корней и ростков, что позволяет принять их длину за показатель тест-функции. Критерием патогенного воздействия поллютанта является ингибирование роста корней и ростков семян (Вельможина и др., 2018).

В литературе упоминается ряд критериев оптимального выбора тест-растений:

- характерность культуры для климатической зоны, в которой проводится тестирование;
- степень важности в трофической цепи и экологических процессах (закрепление грунта, азотфиксация и т.д.);
- способность к размножению;
- способность произрастать в почве (грунте);
- сходность физиологических особенностей по отношению к целевому растению;
- избирательность реакции определённых видов на конкретные поллютанты;
- применимость для проведения фитотестирования как в полевых, так и в лабораторных условиях (Терехова, 2010, 2017; Кыдралиева и др., 2015).

В соответствии с международным стандартом ИСО (ISO) тест-культура выращивается при непосредственном контакте с тест-объектом, то есть прямо в загрязнённой почве. В ходе тестирования измеряют параметры прорастания, роста и размножения двух видов наземных растений. Токсичность загрязнённых почв определяется по задержке роста корней, проросших в загрязнённой почве в вегетационных сосудах в течение нескольких недель. После осуществляют сравнение биометрических показателей растений (длину корней и зеленой массы) с аналогичными показателями контрольных растений, выросших в незагрязнённой почве (Фомини др., 2001).

Неоднозначность проявления различных тест-функций в ответ на воздействие одной и той же пробы испытуемого образца является дискуссионным вопросом в организации и проведении фитотестирования. Эффективность препаратов оценивают по величине отдельных параметров или их совокупности. Длина корня является наиболее чувствительным показателем действия фиторемедиатора. В большинстве иностранных источников по фитотестированию различных образцов длина корней служит тест-параметром. Длина корней проростков является значимым показателем для определения активности гуминовых препаратов (Muchaud et al., 2008).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1 Образцы почв

Для проведения хронического (вегетационного) фитотестирования были использованы образцы почв, взятые из импактной (1 и 2 км), буферной (6 км) и фоновой (30 и 33 км) зон.

Образцы почв из уральского региона были отобраны стандартным способом в июне 2019 г. участниками совместной экспедиции РУДН и Института экологии растений и животных УрО РАН и предоставлены для данной работы.

Пробоотборные площадки в количестве 5 штук были расположены вдоль градиента загрязнения на расстояниях 1, 2, 6, 30 и 33 км к западу от Среднеуральского медеплавильного завода (Приложения 1, 2). В каждой зоне отбора проб почва бралась лопатой на глубину около 10 см в 3 точках на расстоянии 50-200 м. Каждый образец был проанализирован методами количественного химического анализа сотрудниками испытательного центра факультета почвоведения (к.б.н. Карпухин и др.). Для тестирования в аккредитованной лаборатории экотоксикологического анализа почв (ЛЭТАП) было предоставлено 15 образцов горизонта А. С образцами объёмом примерно по 5 л каждый в лаборатории были проведены сушка на воздухе, гомогенизация и просеивание через сито с диаметром отверстий 2 мм.

Почвы в исследуемых пяти пробоотборных зонах вблизи Среднеуральского медеплавильного завода характеризовались следующими признаками.

Зона R1W: Химически-преобразованный бурозём оподзоленный поверхностно-глееватый крайне мелкий очень слабо гумуссированный тяжёлосуглинистый слабоскелетный (КиДПП-2004) Skeletic Stagnic Retisols (Toxic) (WRB-204).

Зона R2W: Химически-преобразованная дерново-подзолистая глееватая сильноненасыщенная крайне мелкая мало гумусированная тяжелосуглинистая слабоскелетная (КиДПП-2004) Stagnic Retisols (Toxic) (WRB-204).

Зона R6W: Структурно-метаморфический бурозём оподзоленный ненасыщенный мелкий слабо гумусированный среднесуглинистый среднескелетный (КиДПП-2004) Skeletic Retisols (WRB-204).

Зона R30W: Текстурно-дифференцированная дерново-подзолистая глееватая ненасыщенная средне мелкая среднегумусированная тяжёлосуглинистая слабоскелетная (КиДПП-2004) Stagnic Retisols (WRB-204).

Зона R33W: Текстурно-дифференцированная дерново-подзолистая глееватая ненасыщенная мелкая среднегумусированная тяжёлосуглинистая слабоскелетная (КиДПП-2004) Stagnic Retisols (WRB-204).

Аналитические химические свойства изучаемых почв представлены в приложении. Содержание металлов и pH определяли в 0.01 KNO₃ при соотношении почва / раствор 1/4 (Приложение 3). В порядке уменьшения содержания валовых форм поллютантов в исследованных образцах тяжёлые металлы можно расположить в следующем порядке: медь, цинк, свинец, кадмий. В образцах почв, взятых в 1, 2 и 6 км от СУМЗ наблюдается превышение ОДК тяжёлых металлов в почве:

- концентрация меди в точках пробоотбора, удалённых на 1 км, превышена в 3-4 раза, на 2 км – в 5-6 раз, на 6 км – менее, чем на 1/3;
- концентрация кадмия в точках пробоотбора, удалённых на 1 км, превышает до 2 раз, на 2 км – до 3 раз, на 6 км – до 2 раз;
- концентрация свинца в точках пробоотбора, удалённых на 1 км, превышена более чем в 4 раза, на 2 км – в 2 раза, на 6 км – превышение не зафиксировано;
- концентрация цинка в точках пробоотбора, удалённых на 1 км, превышена на 1/3, на 2 км и 6 км – чуть больше ОДК.

Согласно классификации (Водяницкий, 2010), степень загрязнения почв тяжёлыми металлами можно охарактеризовать как опасную для образцов из

импактной зоны и как не опасную для образцов из буферной и фоновой зон (Приложение 4). Суммарный показатель загрязнения рассчитывается через сумму коэффициентов концентрации загрязнителей по отношению к региональному геохимическому фону. Он используется в исследованиях последних лет для характеристики полиэлементного загрязнения почв (Елизарьева и др., 2017).

2.2 Углеродсодержащих препараты для ремедиации почв

В работе были исследованы ремедирующие эффекты двух препаратов – лигногумата и биочара, использованных по отдельности и в составе смеси.

Лигногумат – препарат, созданный путем ускоренной гумификации растительного сырья (ООО «РЭТ»). Он является естественным стимулятором роста и антистрессантом. Содержит микроэлементы в органически связанной форме, хорошо усваиваемой растениями, соли гуминовых кислот, низкомолекулярные фульвовые кислоты. Выпускается в твёрдой и жидкой форме, в работе была использована последняя (Кирюшина и др., 2020).

Лигногумат производят из лигносодержащего растительного сырья, получаемого при производстве целлюлозы. В состав сырья изначально не входят гуминовые соединения, они образуются в реакторе под действием температуры и давления. Лигногумат, в отличие от всех природных гуматов (из угля, торфа, сапропеля), полностью растворим. При этом стабильность технологических характеристик и биологическая активность средства выше, чем у природных гуматов, так как лигногумат содержит более активные молекулы гуминовых и фульвовых кислот с меньшим молекулярным весом (lignohumate.ru).

Лигносодержащий препарат лигногумата, предоставленный российской компанией НПО «РЭТ», был использован в жидкой 10%-й форме, хорошо растворимой в воде. Ремедиант применялся в соотношении 2,5 мл/100 г почвы.

Биочар от отечественной компании ООО «Метаком» был использован в экспериментах в твёрдой форме, на 100 грамм почвы вносили 5 грамм препарата. Он является одной из разновидностей древесного угля, прошедшего через несколько стадий пиролиза. Биоуголь известен в качестве сорбента, стимулирующего жизнедеятельность микробиоты, восстанавливающего загрязнённые субстраты (Wang et al., 2020).

2.3 Хроническое (вегетационное) фитотестирование

Для оценки качества почв хроническую фитотоксичность и степень угнетения развития высших растений анализировали после определения параметров вегетационного роста в соответствии с методикой ГОСТ Р ИСО 22030-2009.

Исследуемые образцы почв были перемешаны перед использованием, взвешены и распределены по сосудам. Промаркированные сосуды заполняли образцами почв, не доходя 1 примерно сантиметр до края. Сосуды с каждой из повторностей должны содержать одинаковые объёмы почвы. Почва должна обладать в меру плотной и равномерной структурой, при необходимости производят усадку.

В заполненные сосуды пинцетом закладывали десять визуально одинаковых семян на необходимую глубину, после заравнивая почву и увлажняя субстрат. Параллельно проращивали одну однодольную и одну двудольную культуру. В качестве однодольного растения был взят овес (*Avena sativa*), в качестве двудольного - редька масличная (*Brassica rapa*). Повреждённые и отличающиеся по форме семена отбрасывали.

Для посевного овса и масличной редьки подходит температура $23\pm 3^{\circ}\text{C}$. При нормальном прорастании и развитии допускается более широкий температурный диапазон. Влажность и освещённость должны быть также подходящими для роста тест-растений, 16-часовой световой день при интенсивности света 13000 ± 2000 люкс должен сменяться восемью часами

темноты. Эксперимент проводился в теплице. Во избежание перекрёстного загрязнения летучими поллютантами в ней обеспечивалась достаточная вентиляция. Сосуды располагали в зоне инкубации случайным образом, перемещая их не реже двух раз в неделю, во избежание воздействия неравномерного освещения, температуры, влажности или вентиляции на развитие тест-растений. В течение эксперимента постоянно контролировали соблюдение необходимого уровня влажности.

После прорастания семян растения проредили, через две недели часть растений собирали для определения их биомассы, ещё через несколько недель оставшиеся растения собирали для измерения длины корней и ростков, фитомассы и других показателей. Длительность тестирования должна быть достаточной. Осуществляли сравнение ответных реакций растений в исследуемых почвенных образцах с контрольной почвой.

Показателями тест-функций в работе послужили средние показатели длины корня и ростка в контрольных и опытных образцах, которые вычисляются как среднее арифметическое от суммы всех данных о длинах корней и ростков, полученных в трех повторностях эксперимента. Степень опасности загрязнения же определялась по показателю фитотоксического эффекта (эффекта торможения). Фитотоксическое действие имеет место, если фитоэффект составил 20 % и более. Определение фитотоксического эффекта проводили путем сопоставления показателей тест-функции для контрольных и опытных образцов.

Статистическая обработка данных была проведена в программах R.Studio и Excel 2016.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе экспериментальной части работы после проведения хронического горшечного фитотестирования была дана оценка эффективности применения ремедиантов на образцах почв с территории, подверженной воздействию выбросов Среднеуральского медеплавильного завода (R1W, R2W, R6W, R30W, R33W), и охарактеризована степень опасности полиметаллического загрязнения

Исследование хронической фитотоксичности почвенных образцов проведено по ростовым тест-функциям (длине корней и ростков) тест-растений *Avena sativa* и *Brassica rapa* в вариантах с внесением лигногумата и биочара по отдельности и в составе смеси, а также без обработки ремедиантами.

Всего в ходе хронического фитотестирования было проанализировано 5 почвенных образцов (по количеству пробоотборных площадок). Для каждого из образцов рассматривался контрольный вариант (К), вариант с добавлением лигногумата (Л), биочара (Б) и их смеси (ЛБ), все варианты были взяты в 3-х повторностях (вегетационных сосудах). После измерения ростовых тест-функций (показателей длины корней и ростков) было получено порядка 2400 значений.

3.1 Оценка фитотоксичности почв в градиенте удаленности от источника загрязнения

Согласно расчётам суммарного коэффициента загрязнения почв (Приложение 4) можно заключить, что опасным считается загрязнение образцов из импактной зоны (R1W и R2W). При этом образец R2W загрязнён тяжёлыми металлами сильнее, чем R1W. Также стоит отметить более низкое содержание углерода в импактной зоне по сравнению с буферной и фоновой. Это связано с длительной техногенной нагрузкой на почву, ведущей к:

сокращению численности почвенной биоты и микроорганизмов, снижению их активности, а следовательно и торможению процессов деструкции органики; уменьшению флористического разнообразия и объёма опада, поступающего на поверхность почв; развитию эрозионных процессов.

Результаты хронического фитотестирования образцов почв, отобранных по градиенту удаленности 1-33 км от источника загрязнения тяжёлыми металлами - Среднеуральского медеплавильного завода, представлены на рисунках 1 и 2 для длины корней овса посевного и редьки масличной, на рисунках 3 и 4 для длины ростков тест-культур.

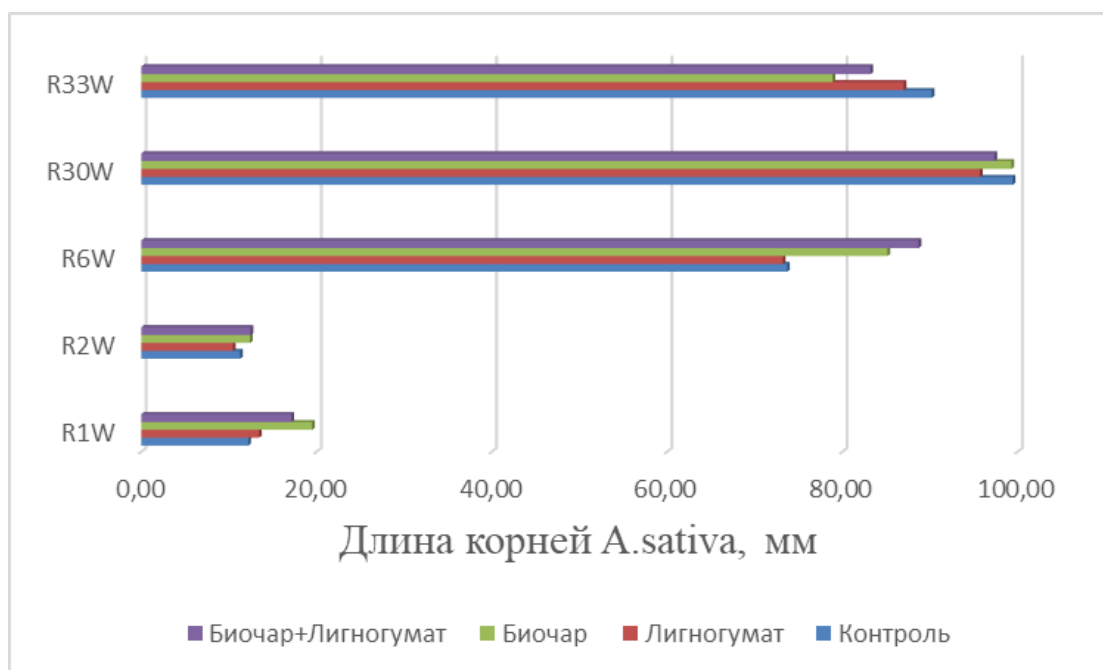


Рисунок 1. Влияние углеродсодержащих препаратов (биочар и лигногумат) на длину корней *A. sativa* в образцах почв на разном удалении от источника загрязнения

Полученные результаты свидетельствуют о выраженном положительном действии ремедирующих препаратов на образцы R1W, R2W и R6W, отобранные в импактной и буферной зонах. Причиной этому могло быть избыточное содержание углерода в образцах из фоновой зоны.

Внесение дополнительного углерода в почвы им не обеднённые привело к отсутствию положительного эффекта от применения улучшителей почвы.

При этом действие добавок наименее выражено в образце R2W – самом загрязнённом, что напрямую коррелирует с нашими данными о показателе Саета.

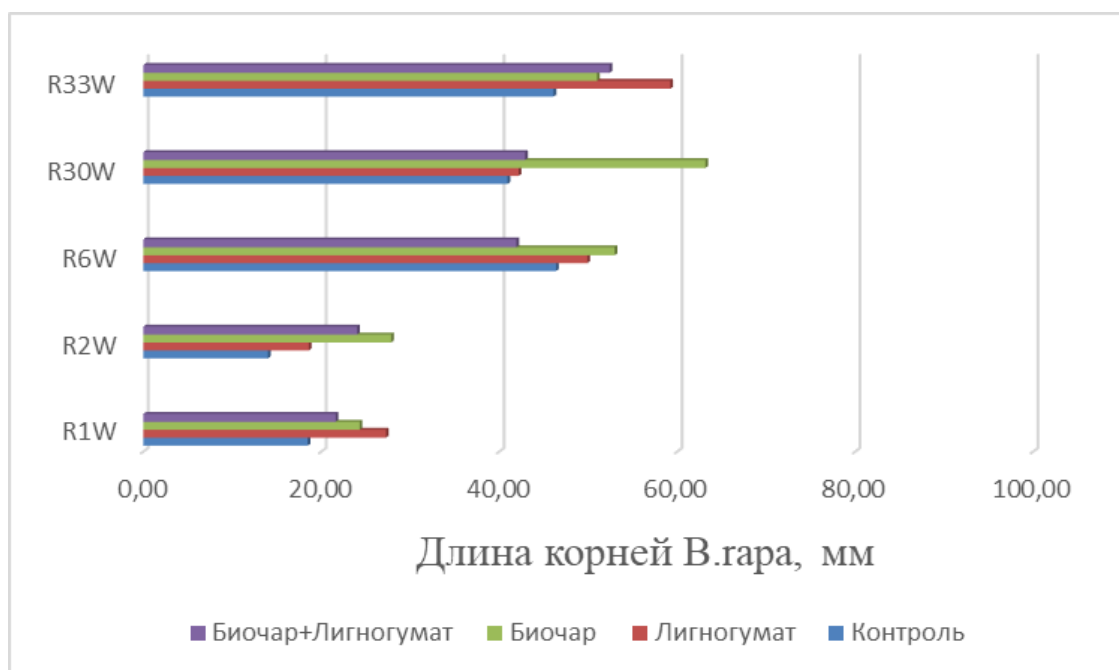


Рисунок 2. Влияние углеродсодержащих препаратов (биочар и лигногумат) на длину корней *V. рара* в образцах почв на разном удалении от источника загрязнения

При анализе длины корней *Brassica rapa* выявлено положительное действие лигногумата, биочара и их смеси на все образцы, за исключением результата применения смеси биочара и лигногумата на образец R6W. Наибольшую эффективность при этом демонстрирует биочар.

Также видно, что наименьший рост корней наблюдается в самом загрязнённом образце, благотворное влияние ремедиантов при этом выражено в нём достаточно явно.

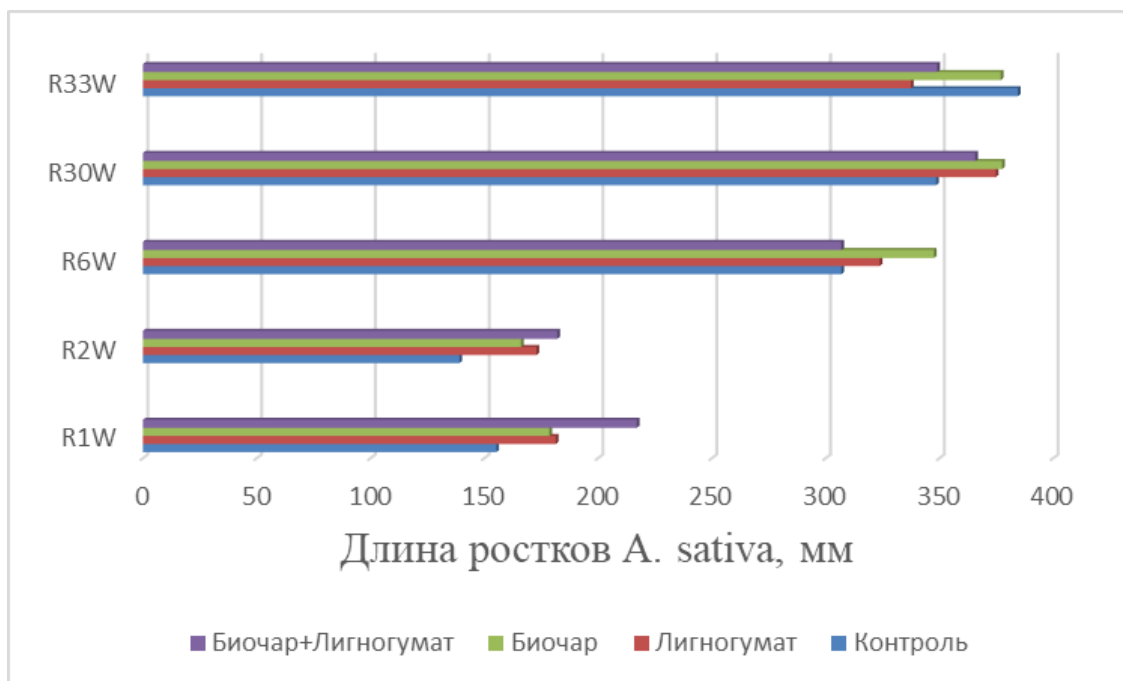


Рисунок 3. Влияние углеродсодержащих препаратов (биочар и лигногумат) на длину ростков *A. sativa* в образцах почв на разном удалении от источника загрязнения.

Как и при исследовании корней *Avena sativa* экспериментальные данные свидетельствуют о выраженном положительном действии ремедирующих препаратов на образцы R1W, R2W и R6W, отобранные в импактной и буферной зонах. Однако в случае с ростками тенденция распространяется ещё и на образец R30W. К этому могло привести избыточное содержание углерода в образце R33W. Или принадлежность почв к определённым разновидностям: R30W - среднесуглинистая, R33W - тяжелосуглинистая.

Наименьшая длина корней приходится на самый загрязнённый тяжёлыми металлами образец. Положительный эффект от применения на нём добавок выражен весьма наглядно.

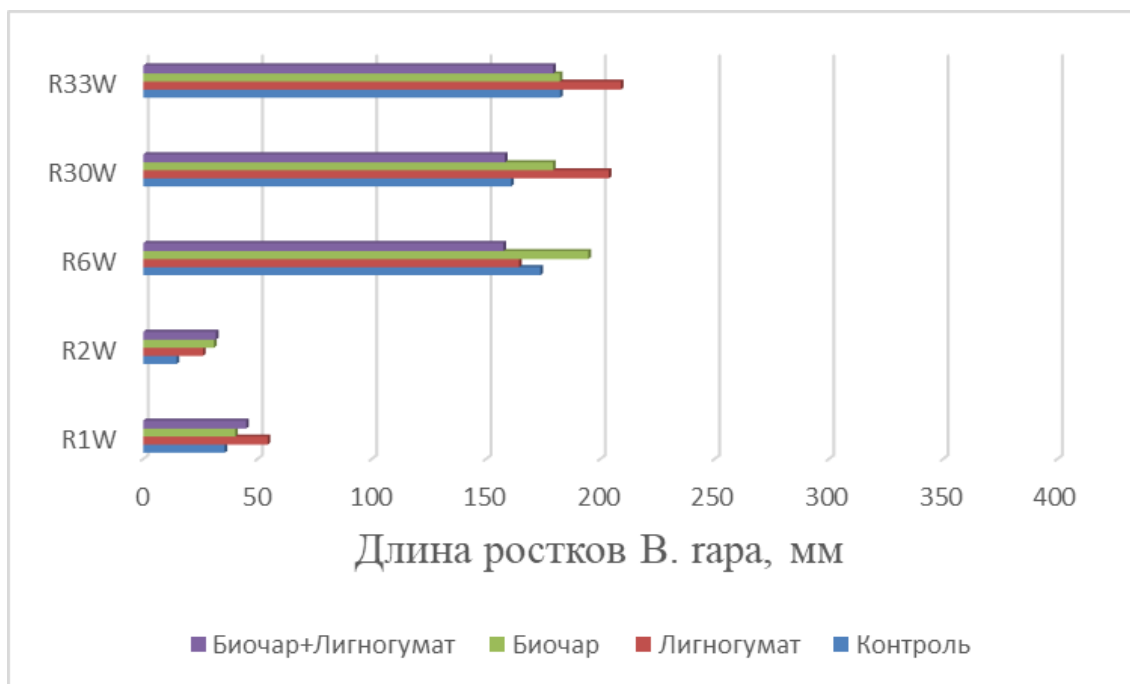


Рисунок 4. Влияние углеродсодержащих препаратов (биочар и лигногумат) на длину ростков *V. rapa* в образцах почв на разном удалении от источника загрязнения.

При изучении длины ростков *Brassica rapa*, как при анализе предыдущих образцов, можно прийти к заключению об эффективности применения улучшителей на почвах с меньшим содержанием углерода. Однако добавление биочара и лигногумата по отдельности также оказало положительное влияние на рост побегов в фоновой зоне.

Минимальные показатели длины характерны для R2W, наиболее загрязнённого тяжёлыми металлами образца. Положительный эффект от применения на нём добавок выражен весьма наглядно.

Сравнив результаты хронического (вегетационного) фитотестирования в разных точках отбора относительно фоновой площадки можно прийти к выводу, что положительное действие улучшителей почв наблюдается в образцах, отобранных в импактной и буферной зонах (R1W, R2W и R6W). Это вероятнее всего связано с их обеднённостью углеродом на фоне удалённых от источника загрязнения почв. В образцах, содержащих достаточное количество

углерода, внесение обогащённых элементом добавок привело к достижению худших ростовых показателей, чем в контрольном образце.

Наименьшие показатели длины корней и ростков наблюдались в образце R2W из импактной зоны. Суммарный показатель загрязнения которого равен 52,076. Такое загрязнение классифицируется как опасное. Положительный эффект от применения лигногумата, биочара и их смеси в этом образце был чётко выражен.

3.2 Влияние углеродсодержащих препаратов на фитотоксичность почв в градиенте удаленности от источника загрязнения

Степень опасности была оценена по величине фитотоксического эффекта (эффекта торможения) Ет. Фитотоксическое действие является доказанным, если эффект торможения составляет 20 % и более. Определяли фитотоксический эффект через сопоставление показателей тест-функции (средней длины корней и ростков) по отношению к контрольным и опытным образцам. Если средняя длина корня или ростка в опытном образце больше и равна длине в контрольном образце, считается, что неблагоприятное действие токсиканта не зафиксировано. То есть отрицательное значение фитотоксического эффекта свидетельствует о выраженном положительном действии ремедирующих препаратов, которое привело к нейтрализации отрицательного воздействия поллютантов.

Наименьшие значения фитотоксического эффекта в Таблице 1 зафиксированы у образцов из импактной и буферной зон, для них характерен заметный положительный эффект от воздействия биочара, лигногумата и их смеси. Что, как было заключено ранее, вероятнее всего является следствием переизбытка углерода в фоновых почвах после внесения улучшителей.

Положительные значения эффекта торможения в образцах, отобранных в фоновой зоне, указывают на изначально низкий уровень загрязнения, не считающийся опасным. В условиях которого ремедирующее действие препаратов не может быть проявлено в полной мере.

Наибольшее ремедирующее действие на овёс посевной оказали добавки биочара и его смеси с лигногуматом.

Таблица 1 - Результаты хронического фитотестирования образцов уральских почв с *A. sativa* (длина корней)

<i>A. sativa</i>	ср. К, мм	ср. Л, мм	Е _Л , %	ср. Б, мм	Е _Б , %	ср. БЛ, мм	Е _{БЛ} , %
R1W	12,19±1,19	13,43±0,53	-10,17	19,5±1,67	-59,92	17,13±0,56	-40,49
R2W	11,27±1,45	10,45±0,73	7,30	12,4±1,93	-9,99	12,47±1,69	-10,59
R6W	73,69±12,23	73,20±26,84	0,66	85,15±14,4	-15,55	88,7±6,61	-20,37
R30W	99,43±16,94	95,7±2,59	3,75	99,29±1,82	0,14	97,35±20,81	2,09
R33W	90,2±18,17	87±18,61	3,55	78,88±7,86	12,55	83,20±23,67	7,76

Примечание: ± – стандартное отклонение, Е – фитотоксический эффект, варианты обработок: Л – лигногумат, Б – биочар, БЛ – их совместное применение

По данным таблицы 2 можно судить о сохранении тенденции к получению наименьших показателей фитотоксичности в более насыщенных гумусом образцах из фоновой зоны. И к достижению улучшителями наибольшего ремедирующего эффекта в самой полиметаллически загрязнённой почве (R2W).

Наибольшее ремедирующее действие на редьку масличную оказали добавки биочара и его смеси с лигногумата по отдельности.

Таблица 2 - Результаты хронического фитотестирования образцов уральских почв с *B. rapa* (длина корней), обработанных углеродсодержащими препаратами

<i>B. rapa</i>	ср. К, мм	ср. Л, мм	Е _Л , %	ср. Б, мм	Е _Б , %	ср. БЛ, мм	Е _{БЛ} , %
R1W	18,46±2,97	27,27±4,5	-47,68	24,3±1,46	-31,59	21,63±3,11	-17,15

R2W	14±1,08	18,59±7,73	-32,76	27,84±4,37	-98,88	24,03±2,64	-71,67
R6W	46,39±5,62	49,89±3,36	-7,55	52,97±4,03	-14,18	41,92±2,42	9,64
R30W	40,93±2,38	42,17±6,4	-3,03	63,17±14,02	-54,33	42,9±4,19	-4,80
R33W	46,11±6,21	59,22±11,67	-28,44	50,98±5,17	-10,55	52,4±3,2	-13,64

Примечание: $\pm$ – стандартное отклонение, Е – фитотоксический эффект; варианты обработок: Л – лигногумат, Б – биочар, БЛ – их совместное применение

Как и в случае с корнями овса посевного, самые низкие показатели фитотоксического эффекта в Таблице 3 зафиксированы у образцов из импактной и буферной зон, для них можно наблюдать явный положительный эффект от воздействия улучшителей почвы.

Положительные значения эффекта торможения наблюдаются в образцах из фоновой зоны с низким уровнем загрязнения, не классифицируемым как опасный.

Наибольшее ремедирующее действие на почвы, судя по реакции овса посевного, оказали добавки биочара и его смеси с лигногуматом.

Таблица 3 - Результаты хронического фитотестирования образцов уральских почв с *A. sativa* (длина ростков), обработанных углеродсодержащими препаратами

<i>A. sativa</i>	ср. К, мм	ср. Л, мм	Е _Л , %	ср. Б, мм	Е _Б , %	ср. БЛ, мм	Е _{БЛ} , %
R1W	155,25	181,40	-16,84	178,57	-15,02	217,01	-39,78
R2W	139,06	172,91	-24,34	166,13	-19,47	182,03	-30,91
R6W	306,89	323,73	-5,49	347,56	-13,25	306,90	0,00
R30W	348,50	374,73	-7,53	377,52	-8,33	365,71	-4,94
R33W	384,47	337,50	12,22	376,92	1,96	349,00	9,22

Примечание: $\pm$ – стандартное отклонение, Е – фитотоксический эффект, варианты обработок: Л – лигногумат, Б – биочар, БЛ – их совместное применение

В Таблице 4 также прослеживается направление в сторону получения наименьших показателей фитотоксичности в более насыщенных гумусом образцах из фоновой зоны. И достижения улучшителями наибольшего ремедирующего эффекта в образце R2W.

Наибольшее ремедирующее действие на почву, судя по реакции редьки масличной, оказали добавки биочара и его смеси с лигногумата по отдельности.

Таблица 4 - Результаты хронического фитотестирования образцов уральских почв с *B. Rapa* (длина ростков), обработанных углеродсодержащими препаратами

<i>B. rapa</i>	ср. К, мм	ср. Л, мм	Е _Л , %	ср. Б, мм	Е _Б , %	ср. БЛ, мм	Е _{БЛ} , %
R1W	35,53	54,37	-53,03	40,19	-13,12	44,97	-26,57
R2W	14,53	26,07	-79,42	30,89	-112,59	31,71	-118,24
R6W	173,69	164,34	5,38	194,72	-12,11	157,52	9,31
R30W	160,87	203,6	-26,56	179,23	-11,41	158,17	1,68
R33W	182,31	208,93	-14,60	182,2	0,06	179,3	1,65

Примечание: $\pm$ – стандартное отклонение, Е – фитотоксический эффект, варианты обработок: Л – лигногумат, Б – биочар, БЛ – их совместное применение

Для установления достоверности описанных выше эффектов в программе R-studio были найдены значения показателя Тьюки. Значения показателя Тьюки (p) учитывают разности между групповыми средними (тест-параметры) и их доверительные интервалы, рассчитанные с учетом контроля над групповой вероятностью ошибки. Случаи когда $p > 0.05$ (5%), указывают на отсутствие существенной разницы в парах значений, тогда как во всех остальных случаях разница статистически значима.

По Таблице 5 мы можем судить о значительной однородности результатов по длине корней тест-культур. Это значит, что разброс данных был незначительный. А показателей, выбивающихся за медиальные значения и интерквартильный разброс, характеризующий разброс 50% центральных значений, было мало или не было вовсе.

При этом фитотестирование с овсом посевным дало более однородные данные, в сравниваемых парах значений которых в большинстве случаев не наблюдается существенных отличий. Для корней редьки масличной разброс значений оказался существенным в 1/3 случаев.

Таблица 5 - Критерий Тьюки, вычисленный по результатам хронического фитотестирования (для корней)

Сравниваемые образцы	<i>Avena sativa</i>	<i>Brassica rapa</i>
33 Б-33 К	0.578	0.671
33 БЛ-33 К	0.910	0.410
33 Л-33 К	0.983	0.008
30 Б-30 К	0.999	0.001
30 БЛ-30 К	0.987	0.992
30 Л-30 К	0.973	0.998
6 Б-6 К	0.482	0.739
6 БЛ-6 К	0.247	0.915
6 Л-6 К	0.980	0.956
2 Б-2 К	0.815	0.001
2 БЛ-2 К	0.785	0.009
2 Л-2 К	0.888	0.999
1 Б-1 К	0.001	0.182
1 БЛ-1 К	0.026	0.768
1 Л-1 К	0.867	0.027

* - $p < 0.05$ (5%), разница в парах статистически значима

Данные по росткам овса и редьки из Таблицы 6, наоборот, указывают на больший разброс данных по сравнению показателями роста корней. Показатели, выбивающиеся за медиальные значения и интерквартильный разброс, встречались в большем количестве. Это значит, что ремедианты оказывают существенное влияние на тест-параметры.

В случае с ростками, редька продемонстрировала меньшую разницу между средними показателями длины. Разброс значений оказался

существенным в 46,7% случаев для ростков редьки и в 73,3% случаев для ростков овса.

Таблица 6 - Критерий Тьюки, вычисленный по результатам хронического фитотестирования (для ростков)

Сравниваемые образцы	<i>Avena sativa</i>	<i>Brassica rapa</i>
33 Б-33 К	0.974	0.999
33 БЛ-33 К	0.024	0.997
33 Л-33 К	0.002	0.168
30 Б-30 К	0.016	0.419
30 БЛ-30 К	0.213	0.982
30 Л-30 К	0.021	0.002
6 Б-6 К	0.001	0.645
6 БЛ-6 К	0.999	0.753
6 Л-6 К	0.413	0.907
2 Б-2 К	0.006	0.001
2 БЛ-2 К	0.001	0.001
2 Л-2 К	0.001	0.003
1 Б-1 К	0.012	0.988
1 БЛ-1 К	0.001	0.804
1 Л-1 К	0.004	0.005

*- $p < 0.05$ (5%), разница в парах статистически значима

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С каждым годом наблюдается всё большая степень загрязнённости почв. За счёт регулярного и обильного поступления поллютантов веществ – продуктов тяжёлой металлургической промышленности, миграции загрязняющих веществ внутри имеющихся природно-техногенных комплексов. Принимая во внимание тот факт, что исследовательская работа проведена в пределах жилой зоны, высокая концентрация тяжёлых металлов и прочих отходов предприятий представляет опасность для здоровья населения.

Самостоятельное восстановление почвы, подвергшейся длительному техногенному воздействию, невозможно без дополнительных природоохранных мероприятий. Даже при минимизации негативного воздействия заводов имеет место рост концентрации токсикантов. В числе необходимых мер восстановления почв рассматривается ремедиация с применением современных препаратов, к которым относятся лигногумат и биочар.

В контролируемых условиях было проведено сравнительное исследование ремедиационного эффекта препаратов по отношению к горизонтам (0-20 см) ретисолей с территории Среднеуральского медеплавильного завода и дана экологическая оценка загрязнения почв

Основываясь на результатах проведенной работы, следует заключить, что эффективность ремедиации зависит от уровня загрязнения и почвенных свойств. В частности, от содержания органического углерода. Это связано с особенностями почвы, её свойства способствуют накоплению и миграции поллютантов.

Анализ данных экспериментов позволяет сделать вывод об обратной зависимости длины корней от показателей загрязнения в твердой массе почвы; преимуществе использования длины корней *Avena sativa* в качестве тест-параметра; хотя и наблюдается корреляция между результатами по длине ростков и корней обеих культур.

Результаты фитотестов показали, что под действием «улучшителей» наблюдается более высокий уровень роста тест-культур *Avena sativa* и *Brassica rapa*, что может свидетельствовать о снижении доступных форм тяжёлых металлов. Вероятно, это происходит ввиду их закрепления в почве из-за образования комплексных соединений с органическими веществами. Или благодаря фиксации в структуре почвы.

Сравнение лигногумата, биочара и их смеси показало преимущество отдельного использования препаратов в ремедиационной способности по отношению к полиметаллическому загрязнению. Однако выборка в объёме пяти почвенных образцов, протестированных в трёх повторностях, не является достаточной для формирования полного представления о действии смеси улучшителей.

ВЫВОДЫ

1. Экологическая оценка загрязнения почв в районе деятельности металлургического предприятия показала, что в импактной и буферной зонах (на удалении 1, 2 и 6 км от источника загрязнения, соответственно) наблюдается превышение ОДК меди, свинца, кадмия и цинка в несколько раз. В соответствии с классификацией образцы из импактной зоны считаются опасными.

2. Исследование фитотоксического эффекта в градиенте удаленности от СУМЗ до и после применения лигногумата, биочара и их смеси выявило положительный результат от применения исследуемых ремедиантов. Обработка привела к потере образцами токсичности. Лучший эффект ремедианта наблюдался на более загрязнённых почвах.

3. Сравнение ремедирующего эффекта улучшителей на почвах с разным содержанием органического углерода (гумуса) показало, что в количественном выражении он выше на обедненных гумусом образцах. Создание переизбытка углерода в почвах приводит к потере эффективности ремедиантов.

4. Фитотестирование с учётом длины корней *Avena sativa* дало более однородные данные. При статистическом анализе массива полученных значений не наблюдается существенных отклонений и выбросов значений. При этом наблюдается корреляция между тест-параметрами ростков и корней обеих культур.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вельможина О.В., Бахирева О.И., Соколова М.М., 2018. Применение фитотестирования для оценки возможности биоремедиации почвы, загрязнённой ионами свинца и ртути // Вестник ПНИПУ. С.9-18.
2. Водяницкий Ю. Н., 2010. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами // Почвоведение. № 10. С. 1276-1280.
3. Гревцев Н.В., 2015. Геохимические особенности почв в районах функционирования горно-металлургического комплекса / Н.В. Гревцев, Н.Ю. Антонинова, Л.А. Шубина // Известия вузов. Горный журнал. С. 29 - 34.
4. Грехова И.В., Матвеева Н.В., 2014. Применение гуминового препарата в баковой смеси при протравливании семян яровой пшеницы // Проблемы и перспективы биологического земледелия: матер.междунар.науч. конф. Рассвет. С. 121-127.
5. Елизарьева Е.Н., Янбаев Ю.А., Редькина Н.Н., Кудашкина Н.В., Байков А.Г., 2017. Оценка загрязнения почв в зоне влияния предприятий металлургической отрасли // Вестник Оренбургского государственного университета. №9. С.8-13.
6. Ермагамбет Б.Т., Нургалиев Н.У., Сыздыкова А.А., Маслов Н.А., 2019. Перспективы применения гуминовых веществ и их получение из окисленного бурого угля //Журнал «Наука, техника и образование». С.20—25.
7. Кирюшина А.П., Парамонова А.И., Прудникова Е.В., Королев П.С., Терехова В.А., 2020. Фитотестирование ростстимулирующей активности биочара и лигногумата на почвах разного гумусного статуса // Агрохимия. №11. С.14-20.
8. Кыдралиева К. А., Жоробекова Ш. Ж., Топильская О. М., Акулова М. И., Терехова В. А., 2015. Экспериментальная характеристика ремедиационных свойств гуминовых препаратов разного генезиса по

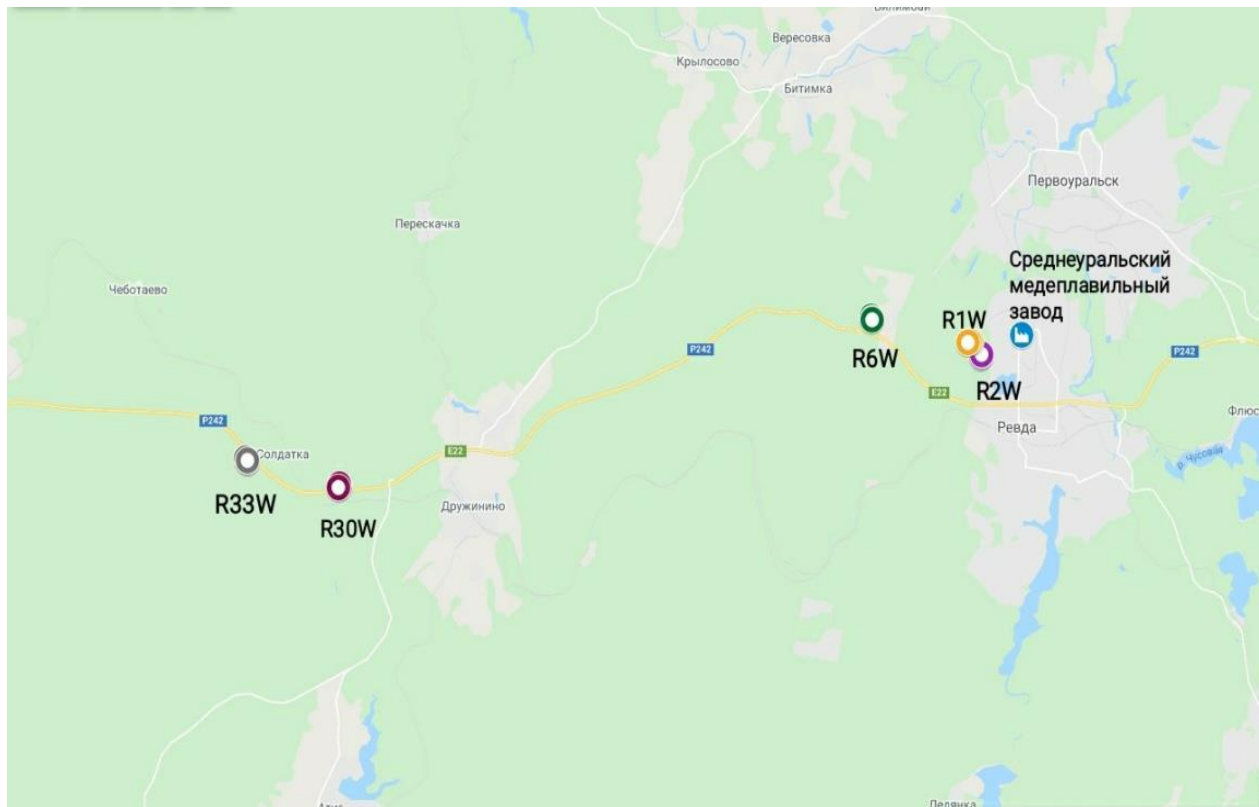
- фону загрязнення почв медью // Теоретическая и прикладная экология. №2. С.74-79.
9. *Левинский Б.В.*, 2000. Всё о гуматах / Б.В. Левинский. И: Корф-Полиграф. 75 с.
10. *Мальцев А.А., Мальцева В.А.*, 2019. Средние промышленные предприятия регионов Урала: специфика развития и проблемы роста // Известия Уральского государственного экономического университета. №3. С.65-79
11. *Павлов В.М., Саубанов Р.Р., Исрафилов И.Х.*, 2012. Влияние биоугля на качественное восстановление почворесурсов Республике Татарстан // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. С.41-46.
12. *Разумов Е.Ю., Назипова Ф.В.*, 2015. Биоуголь: современное представление// Вестник Казанского технологического университета. С.220-222.
13. *Рижия Е.Я., Бучкина Н.П., Мухина И.М., Белинец А.С., Балашов Е.В.*, 2015. Влияние биоугля на свойства образцов дерново-подзолистой супесчаной почвы с разной степенью окультуренности (лабораторный эксперимент) // Почвоведение. С.211-220
14. *Семячков А.И.*, 2003. Техногенная трансформация окружающей среды горно-металлургических комплексов //Диссертация.
15. *Семячков А.И., Почечун В.А.*, 2007. Оценка экологических последствий реализации проекта «Урал промышленный - Урал полярный» для среднего Урала // Экономика региона. Тематическое приложение к №2. С.99-106.
16. *Соколик Г.А., Овсянникова С.В., Иванова Т.Г., Попеня М.В., Войникова Е.В.*, 2015. Характеристики дерново-подзолистых почв после внесения биоугля // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя хімічных навук. С. 87-94.

17. *Терехова В.А.*, 2010. Проверка безопасности искусственных почвогрунтов из органосодержащих отходов // Экология производства. №2. С.39-43.
18. *Усольцев В.А., Воробейчик Е.Л., Бергман. И.Е.*, 2012. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения // Электронный архив УГЛТУ. С.237.
19. *Фомин Г.С., Фомин А.Г.*, 2001. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. Справочник. М: Протектор. 304 с.
20. *Шепель К.В.*, 2019. Геоэкологическая оценка загрязнения почв в районе расположения предприятий горно-металлургического комплекса Урала// Проблемы недропользования. №2. С. 171-177.
21. *Якименко О. С., Терехова В. А., Пукальчик М. А., Горленко М. В., Попов А. И.*, 2019. Сравнение двух интегральных биотических индексов при оценке эффектов взаимодействия гуминовых препаратов в модельном эксперименте // Почвоведение. №7. С.781-792.
22. *Burdick, E.M.*, 1973. Commercial humates for agriculture and the fertilizer industry.
23. *Chen, Yaoning, Liu, Y., Li, Y., Wu, Y., Chen, Yanrong, Zeng, G., Zhang, J., Li, H.*, 2017. Influence of biochar on heavy metals and microbial community during composting of river sediment with agricultural wastes // Bioresour. Technol. P. 347–355.
24. *Dudka S., Adriano D.C.*, 1997. Environmental impacts of metal ore mining and processing: a review // J. Environ. Quality. V.26. №3. P. 590-602.
25. *Gashikovich G.K., Vasilyevna S.E., Rubenovich G.B., Valeeva A.A.*, 2015. The possibility of use research methods of soil organic matter for assess the biochar properties // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. P.194-201
26. *Haris M., Hamid Y., UsmanM., Wang L., Saleem A., Su F., Guo J., Lia Y.*, 2004. Crop-residues derived biochar: synthesis, properties, characterization and

- application for the removal of trace elements in soils // *Environ. Sci. Technol.* №38. P.4649-4655.
27. *Hunt J., DuPonte M., Sato D., Kawabata A.*, 2010. The Basics of Biochar: A Natural Soil Amendment // *Soil and Crop Management*. P.1-6
28. *Michaud A, Chappelaz C., Hinsinger P.*, 2008. Copper phytotoxicity affects root elongation and iron nutrition in durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.). // *Plant and soil*. №1-2. P.151-165.
29. *Nelson, N.O., Agudelo, S.C., Yuan, W., Gan, J.*, 2011. Nitrogen and phosphorus availability in biochar-amended soils // *Soil Sci.* P. 218–226
30. *Prudnikova E. V., Terekhova V. A., Karpukhin M. M., Vorobeichik E. L., Smorkalov I. A., Dovletyarova E. A., Navarro-Villarroel C., Ginocchio R., Neaman.*, 2020. A root elongation method for quality assessment of metal-polluted soils: whole soil or soil-water extract// *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. P. 2294-2303.
31. *Wang, M., Zhu, Y., Cheng, L., Anderson, B., Zhao, X., Wang, D., Ding, A.*, 2018. Review on utilization of biochar for metal-contaminated soil and sediment remediation // *J. 1478 Environ. Sci. (China)*. № 63. P. 156–173.
32. *Wang, L., Chen, L., Guo, B., Tsang, D.C.W., Huang, L., Ok, Y.S., Mechtcherine, V.*, 2020. Red mud-enhanced magnesium phosphate cement for remediation of Pb and As contaminated soil// *Journal of Hazardous Materials*.
33. Портал среднеуральского медеплавильного завода. www.sumz.umn.ru.
34. Портал- LIGNOHUMATE concentrated humic product. lignohumate.ru.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Расположение точек отбора образцов в Свердловской области
(R1W и R2W – импактная зона, R6W – буферная зона, R30W и R33W –
фоновая зона)



Приложение 2. Координаты точек отбора образцов в Свердловской области

Обозначение удаления	Номер ПП	Координаты
R33W	1	N56 48.405 E59 21.749
R33W	2	N56 48.434 E59 21.756
R33W	3	N56 48.485 E59 21.658
R30W	1	N56 47.867 E59 25.586
R30W	2	N56 47.899 E59 25.651
R30W	3	N56 47.942 E59 25.638
R6W	1	N56 51.428 E59 48.057
R6W	2	N56 51.379 E59 48.075
R6W	3	N56 51.377 E59 48.076
R2W	1	N56 50.606 E59 52.649
R2W	2	N56 50.632 E59 52.684
R2W	3	N56 50.641 E59 52.712
R1W	1	N56 50.919 E59 52.280
R1W	2	N56 50.912 E59 52.212
R1W	3	N56 50.903 E59 52.112

Приложение 3. Химические свойства образцов из Свердловской области

Образец	Дистанция, км	рН	Валовые формы металла, мг кг ⁻¹				Подвижные формы металла, мг Л ⁻¹			
			Cu	Cd	Pb	Zn	Cu	Cd	Pb	Zn
Минеральный горизонт (А)										
R1W1 S	1	4,3	645*	3,1	76	207	0,410	0,027	0,007	2,20
R1W2 S	1	3,9	798	3,3	227	245	5,368	0,118	0,051	7,81
R1W3 S	1	4,5	1009	5,1	376	363	0,829	0,051	0,013	3,81
R2W1 S	2	4,1	776	4,9	35	212	5,274	0,124	0,013	8,41
R2W2 S	2	4,2	1364	7,7	164	323	5,133	0,152	0,010	10,60
R2W3 S	2	4,2	1434	5,5	143	388	3,464	0,082	0,011	9,34
R6W1 S	6	4,3	192	2,6	17	198	0,130	0,018	0,007	3,47
R6W2 S	6	4,2	150	2,2	34	259	0,068	0,012	0,007	2,84
R6W3 S	6	4,3	305	4	77	403	0,195	0,023	0,007	3,70
R30W1 S	30	4,3	48	0,7	28	110	0,012	0,002	0,007	0,25
R30W2 S	30	4,3	32	0,5	23	86	0,018	0,003	0,007	0,40
R30W3 S	30	4,2	36	0,6	24	77	0,013	0,003	0,007	0,29
R33W1 S	33	4,0	34	0,5	25	99	0,023	0,005	0,007	0,35
R33W2 S	33	4,1	30	0,9	20	120	0,010	0,003	0,007	0,51

Продолжение Приложения 3

R33W3 S	33	4,0	34	0.46	20	73	0,018	0,005	0,007	0,29
---------	----	-----	----	------	----	----	-------	-------	-------	------

*- превышение ОДК

Приложение 4. Классификация образцов по степени опасности

Образец	Дистанция, км	Суммарный показатель загрязнения почв Zс (показатель Саета)	Степень опасности
R1W	1	43,055	Опасное
R2W	2	52,076	Опасное
R6W	6	13,691	Не считается опасным
R30W	30	1,429	Не считается опасным
R33W	33	1,147	Не считается опасным

Приложение 5. Хроническое фитотестирование загрязнённых ТМ образцов,
отобранных на расстоянии 33 км, в фоновой зоне (*A. sativa*)

