

На правах рукописи

Рудзиш Эделина



**РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ
ЗЕМЕЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
НЕТРАДИЦИОННЫХ МЕЛИОРАНТОВ**

*Специальность 25.00.36 – Геоэкология
(в горно-перерабатывающей промышленности)*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2022

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент

Петрова Татьяна Анатольевна

Официальные оппоненты:

Качурин Николай Михайлович

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», кафедра аэрологии, охраны труда и окружающей среды, профессор;

Семячков Александр Иванович

доктор геолого-минералогических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук, Центр природопользования и геоэкологии, руководитель.

Ведущая организация – научно-производственная корпорация «Механобр-техника» (акционерное общество), г. Санкт-Петербург.

Защита диссертации состоится 14 сентября 2022 г. в 10:30 на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.06 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, ауд. № 1171а

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 14 июля 2022 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
Диссертационного совета



ИВАНОВ
Владимир Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Процесс добычи и переработки полезных ископаемых вызывает нарушение целостности природных ландшафтов, деградацию земель и снижение их способности поддерживать полноценное функционирование экосистемы, что приводит к формированию техногенно нарушенных земель.

Согласно Государственному (национальному) докладу «О состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2020 году» из хозяйственного оборота выведено более 1,1 млн. га земель с нарушенной целостностью природных ландшафтов. Вместе с этим ежегодно происходит увеличение интенсивности и масштабов негативного воздействия на земельные ресурсы от горнодобывающих и горноперерабатывающих производств, площади техногенно нарушенных земель расширяются: за 2016 – 21,6 тыс. га, за 2017 – 163,4 тыс. га, за 2018 – 71,2 тыс. га.

Основная проблема рекультивации техногенно нарушенных земель при разработке месторождений твердых полезных ископаемых заключается в масштабных трансформациях почвенно-минеральных комплексов. Вследствие интенсивной деформации ландшафта на данных территориях земли характеризуются нарушениями физико-химических показателей, почвенных режимов, а также низким показателем органической составляющей. В связи с этим, для эффективного восстановления почвенно-растительного комплекса на техногенно нарушенных землях необходимо проведение рекультивационных мероприятий с применением органических мелиорантов.

Все наиболее доступные и распространенные органические мелиоранты (сапрпель, компост, остатки растительного и животного происхождения) имеют ряд недостатков.

Во-первых, краткий период воздействия на физико-химические показатели почвы с усвоением растениями пита-

тельных веществ за первые вегетационные сезоны, что в дальнейшем приводит к губительным последствиям для формируемого растительного покрова и экосистемы в целом. Вследствие чего увеличиваются сроки восстановления и снижается экологическая эффективность рекультивационных мероприятий. Следовательно, при рекультивации техногенно нарушенных земель необходимо использовать органические мелиоранты с пролонгированным эффектом воздействия.

Во-вторых, большинство существующих органических мелиорантов имеют высокую стоимость, что в совокупности с масштабами нарушенных земель, препятствует их использованию в рекультивации ввиду экономической нецелесообразности.

К альтернативным малозатратным субстратам относятся нетрадиционные мелиоранты – отходы производства, в том числе осадки сточных вод (ОСВ), обладающие мелиорационным потенциалом. Осадки сточных вод имеют низкую себестоимость, а также ряд из них характеризуется пролонгированным эффектом воздействия, что делает их потенциально эффективными нетрадиционными органическими мелиорантами для рекультивации техногенно нарушенных земель.

Степень разработанности темы исследования. Проблемами восстановления почвенно-растительного комплекса на нарушенных землях занимались такие ученые как В.В. Тарчевский, Б.П. Колесников, Т.С. Чибрик и другие, а в последние годы: С.П. Месяц, А.И. Семячков, К. Svobodova, А.Т. Cross, Z. Bai, A. Manero, J. Wang, и др.

В последнее время активно развивается направление по разработке способов мелиорации нарушенных земель с использованием нетрадиционных мелиорантов, в том числе, на основе осадков сточных вод. Вопросы применимости нетрадиционных мелиорантов и ОСВ рассмотрены в работах: Е.М.Еid, М.М. Jordan, D.J. Batstone, Е.П. Пахненко,

V. Carabassa, W. Halecki, W.E. Sopper, V. Asensio, A.M. Abbas и других.

Несмотря на изученность вопроса восстановления техногенно нарушенных земель, в работах авторов уделено недостаточное внимание к выбору экологически эффективных и экономически целесообразных региональных нетрадиционных мелиорантов для формирования почвенно-растительных комплексов.

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 25.00.36 – Геоэкология (в горно-перерабатывающей промышленности) по пункту 3.3. «Геоэкологические аспекты рационального использования и охраны минеральных ресурсов Земли и рекультивации территорий, нарушенных при разработке месторождений и обогащении твердых полезных ископаемых».

Цель работы – экологически эффективное восстановление почвенно-растительного комплекса на территориях, нарушенных при разработке месторождений твердых полезных ископаемых для снижения техногенной нагрузки.

Поставленная в диссертационной работе цель достигается посредством решения нижеуказанных **задач**:

1. Классификация мелиорантов на основе систематизации характеристик техногенно нарушенных земель с целью их дальнейшей рекультивации.

2. Обоснование возможности применения нетрадиционных мелиорантов для рекультивации техногенно нарушенных земель.

3. Лабораторные исследования химического и мелиорационного потенциала предлагаемых композиционных составов нетрадиционных мелиорантов.

4. Экспериментальные исследования по оценке экологической эффективности: экологической безопасности и мелио-

рационного потенциала предлагаемых нетрадиционных мелиорантов.

5. Обоснование выбора предлагаемого нетрадиционного мелиоранта, используемого для восстановления почвенно-растительного комплекса при проведении экологически эффективной рекультивации техногенно нарушенных земель.

Идея работы – рекультивация техногенно нарушенных земель должна проводиться с использованием нетрадиционных органических мелиорантов для экологически эффективного восстановления почвенно-растительного комплекса.

Объект исследования – техногенно нарушенные земли, образованные в результате складирования отходов при разработке месторождений твердых полезных ископаемых.

Предмет исследования – органические мелиоранты на основе осадков сточных вод для восстановления почвенно-растительного комплекса при рекультивации техногенно нарушенных земель.

Научная новизна работы:

1. Установлена зависимость между массой растительного покрова и результатами расчета вегетационного индекса листовой поверхности (LAI – Leaf Area Index) травянистой растительности для оценки почвенных субстратов.

2. Определены оптимальные диапазоны доз внесения нетрадиционного органического мелиоранта для восстановления растительного покрова на антропогенно измененных супесчаных почвах, формируемых при рекультивации техногенно нарушенных земель.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Разработана методика оценки эффективности внесения мелиорантов в почвенные субстраты на основе анализа роста и развития растительного покрова.

2. Обоснована экологическая эффективность предлагаемого нетрадиционного мелиоранта и его доз внесения.

3. Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс в ходе проведения практических и лабораторных занятий обучающихся направлений 05.04.06 «Экология и природопользование» и 21.05.04 «Горное дело».

4. Результаты и рекомендации диссертационной работы приняты к использованию при рекультивации объекта размещения отходов АО «Омский каучук» (акт о внедрении результатов от 14.03.2022).

Методология и методы исследования. Проведение исследований осуществлялось в соответствии со следующими методами:

1. Системный анализ характеристик техногенно нарушенных земель, влияющих на сроки их восстановления для классификации видов мелиорантов.

2. Аналитические и экспериментальные исследования в лабораторных условиях на базе Центра коллективного пользования высокотехнологичным оборудованием Горного университета.

3. Методы цифровой обработки данных совместно с расчетами вегетационных индексов для анализа биомассы растительного покрова.

4. Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Повышение достоверности оценки биологической продуктивности восстанавливаемого травянистого покрова техногенно нарушенных земель в динамике роста и развития достигается с использованием метода цифровой обработки RGB-снимков с применением вегетационного индекса листовой поверхности.

2. Рекультивацию техногенно нарушенных земель при нанесении плодородного или потенциально плодородного слоя супесчаной почвы следует проводить с использованием

нетрадиционных органических мелиорантов, содержащих активный ил и лигниновое волокно, что обеспечивает высокое содержание органического вещества (>90 %) и пролонгированный эффект воздействия из-за повышенного соотношения углерода к азоту (C/N >30).

3. Для экологически эффективного восстановления травянистого растительного покрова на рекультивируемых техногенно нарушенных землях горного производства следует вносить 90 т/га предлагаемого нетрадиционного органического мелиоранта.

Степень достоверности результатов исследования обусловлена значительным объемом обработанных данных, полученных в результате лабораторных и экспериментальных исследований с использованием современных методов анализа, а также с применением цифровых методов обработки данных.

Апробация результатов. Основные и отдельные положения работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научных и научно-технических конференциях и симпозиумах, в том числе: Международная конференция по вопросам обращения с отходами горнодобывающих предприятий (г. Санкт-Петербург.; 2019 г.); XVII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов (г. Санкт-Петербург.; 2019 г.); XV Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург.; 2019 г.); X Всероссийская научно-практическая конференция «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: эффективное освоение месторождений полезных ископаемых» (г. Санкт-Петербург.; 2020 г.); XVII Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых “Topical Issues of Rational Use of Natural Resources” (г. Санкт-Петербург.; 2021 г.).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач диссертационного исследования; анализе зарубежной и отечественной научной литературы по теме исследований; разработке методики анализа роста и развития растительного покрова для оценки почвенных субстратов; проведении экспериментальных исследований по оценке применимости предлагаемого нетрадиционного мелиоранта и обоснование его доз внесения.

Публикации по работе. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 5 печатных работах, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 3 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 172 наименований, и 4 приложения. Диссертация изложена на 144 страницах машинописного текста, содержит 37 рисунков и 9 таблиц.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю, кандидату технических наук, доценту Петровой Татьяне Анатольевне за всестороннюю помощь, поддержку и конструктивную критику, а также выражает искреннюю благодарность всему коллективу кафедры геоэкологии Санкт-Петербургского горного университета.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи работы и научная новизна, рас-

крыты теоретическая и практическая значимости исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведена систематизация техногенно нарушенных земель (ТНЗ), образовавшихся при разработке месторождений твердых полезных ископаемых с целью их дальнейшей рекультивации. Составлена классификация видов нетрадиционных органических мелиорантов и их применение в качестве почвенных добавок.

Во второй главе проведены теоретические исследования применимости осадков сточных вод городского типа и осадков целлюлозно-бумажной промышленности (ОСВ ЦБП). На основе проведенных лабораторных исследований определены характеристики ОСВ целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК), как потенциального мелиоранта.

В третьей главе представлены теоретические исследования в области оценки применимости мелиорантов для рекультивации ТНЗ и предложен альтернативный метод комплексной оценки воздействия мелиоранта на растительный покров.

В четвертой главе представлены результаты проведенных экспериментальных исследований по оценке воздействия нетрадиционного мелиоранта на биологическую продуктивность восстанавливаемого травянистого покрова и расчет эффективных и экологически безопасных доз внесения для обоснования применимости мелиоранта.

В заключении сформулированы ключевые научные и практические выводы работы.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Повышение достоверности оценки биологической продуктивности восстанавливаемого травянистого покрова техногенно нарушенных земель в динамике роста и развития достигается с использованием метода цифро-

вой обработки RGB-снимков с применением вегетационного индекса листовой поверхности.

Экологически эффективным завершением рекультивации ТНЗ является формирование устойчивого почвенно-растительного комплекса (ПРК), что обеспечивается созданием благоприятных и оптимальных почвенных режимов.

Отсутствие методик и рекомендаций в области оценки применимости мелиорантов, рекультивантов, почвенных добавок и анализа состояния почвенного слоя для восстановления растительного покрова при рекультивации земель препятствует рациональному и эффективному формированию почвенных условий для восстановления устойчивого ПРК.

Скорость и эффективность восстановления ПРК на рекультивируемых ТНЗ отражается в показателе биологической продуктивности растительного покрова (биомассе). При нормальном восстановлении функций почвообразования и самовосстановления среды развитие почвенного слоя и растительного покрова происходят синергично, т.е. в соответствии со стадиями своего развития. Таким образом, оценку скорости и эффективности восстановления ПРК можно проводить на основе анализа развития растительного покрова.

Классический подход к оценке биологической продуктивности травянистого покрова заключается в методе измерения биомассы срезанного растительного материала. Такой метод является трудоемким и ресурсозатратным, а также приводит к разрушению анализируемого растительного материала.

В качестве альтернативного подхода предлагается метод цифровой обработки RGB-снимков с применением вегетационного индекса листовой поверхности, основанный на спектральных особенностях растений отражать/поглощать свет.

Для подтверждения применимости альтернативного подхода были сформированы модели почвенно-растительных комплексов с различными почвенными субстратами и засевом

травянистой культуры – райграса *Lolium perenne* L. Все модели были помещены в лабораторные условия – при постоянных параметрах микроклимата, установкой фитоламп полного спектра свечения и равномерным экспериментально рассчитанным поливом.

Достоверность подхода была доказана на основе сравнительного анализа биологической продуктивности восстанавливаемого травянистого покрова двумя подходами: классическим – метод 1 и альтернативным – метод 2.

Метод 1. Измерение биомассы срезанного растительного материала проводилось в вегетационный период экспоненциального роста травянистого покрова со сбором и измерением сырой биомассы наземной части растительного покрова каждые две недели.

Метод 2. Цифровая обработка RGB-снимков с применением вегетационного индекса листовой поверхности (LAI) осуществлялась следующим образом:

1) RGB-съемка растительного покрова проведена на равноудаленном расстоянии от почвенной поверхности цифровой камерой с высоким разрешением.

2) Полученные RGB-снимки (в формате JPG) обработаны и проанализированы с помощью ПО ImageJ. Обработка заключалась в дифференцировании и отделении растровых изображений растительного покрова от пикселей фоновой части изображения. Для дифференциации были определены пороги цвета (зеленого) на основе обработки оттенка, насыщенности и интенсивности цветовой модели (рисунок 1).

3) На основе полученных данных выполнен расчет LAI, который определяется как отношение площади растительного покрова к площади земельного участка (%), т.е. площади дифференцированных «зеленых» участков растительного покрова к площади рабочей поверхности.

Сравнительный анализ результатов измерений растительного покрова по двум методам показал корреляционную зависимость по всем трем сериям оценки биологической продуктивности травянистого покрова $r_1^2 > 0,95$; $r_2^2 > 0,75$; $r_3^2 > 0,75$, что подтверждает пригодность предложенного альтернативного метода цифровой обработки RGB-снимков с расчетом LAI (рисунки 2, 3).

При проведении исследования биологической продуктивности предложенным альтернативным методом было сделано и обработано более 700 RGB-снимков, что позволило оценить рост и развитие травянистого покрова без разрушения растительного материала за весь вегетационный период с еженедельной периодичностью, т.е. в динамике роста и развития растительного покрова. Тогда как классический подход – методом измерения срезанной биомассы – позволил сделать лишь три серии отбора и измерений массы растительного покрова за вегетационный период и с разрушением анализируемого материала, что является существенными недостатками метода.

Таким образом, предложенный вариант позволяет оценить эффект воздействия от внесения мелиорантов на формирование растительного покрова на протяжении всего вегетационного периода и своевременно определить ухудшение почвенных режимов на рекультивируемых участках ТНЗ.

2. Рекультивацию техногенно нарушенных земель при нанесении плодородного или потенциально плодородного слоя супесчаной почвы следует проводить с использованием нетрадиционных органических мелиорантов, содержащих активный ил и лигниновое волокно, что обеспечивает высокое содержание органического вещества (>90 %) и пролонгированный эффект воздействия из-за повышенного соотношения углерода к азоту (C/N >30).

Экологически эффективная рекультивация заключается в формировании устойчивого ПРК при создании оптимальных условий для возвращения естественных функций почвообразования и самовосстановления среды. Эффективность и потенциал восстановления среды можно оценить скоростью эволюционного изменения почвенного слоя от техноземов к эмбриоземам – слаборазвитым, примитивным почвам, формирующимся в режиме саморазвития.

Развитие почвенного слоя обуславливается накоплением почвенного органического вещества, в связи с чем для создания оптимальных условий необходимо внесение органических почвенных добавок (мелиорантов). Долгосрочный питательный режим технозема обеспечивают мелиоранты, обладающие пролонгированным эффектом воздействия. Эффект достигается постепенным высвобождением питательных веществ и обеспечением стабильного питательного режима, что способствует возвращению функции почвообразования и самовосстановления и формированию эмбриоземов.

При высоких значениях соотношения углерода к азоту в почве ($C:N > 30$) происходит иммобилизация азота – закрепление его в органическом веществе почвы. Иммобилизованный азот из органического вещества становится питательной средой для почвенных микроорганизмов, которые в процессе своей жизнедеятельности переводят его в доступные формы для растений, что дает постепенное высвобождение азота и стабильный питательный режим для растительного покрова.

Повышенным количеством углерода и высоким содержанием азота обладает ОСВ ЦБП, в состав которого входит избыточный активный ил от биологической стадии очистки и лигниновое волокно, что потенциально делает его нетрадиционным органическим мелиорантом. Избыточный активный ил обуславливает высокое содержание органического вещества – более 90%, а лигниновое волокно потенциально может обес-

печить пролонгированный эффект воздействия на питательный режим почвы.

Лабораторные исследования ОСВ ЦБК, предлагаемых в качестве нетрадиционных мелиорантов, показали высокое содержание органического углерода – до 40 % и содержание азота – до 1 %, что дает соотношение C:N ~ 40 и подтверждает применимость ОСВ с содержанием активного ила и лигнинового волокна в качестве нетрадиционного мелиоранта с пролонгированным эффектом воздействия для экологически эффективной рекультивации ТНЗ.

3. Для экологически эффективного восстановления травянистого растительного покрова на рекультивируемых техногенно нарушенных землях горного производства следует вносить 90 т/га предлагаемого нетрадиционного органического мелиоранта.

Экологически и экономически эффективную рекультивацию ТНЗ при восстановлении травянистого растительного покрова целесообразно проводить с внесением органических почвенных добавок промышленного происхождения – нетрадиционных мелиорантов, что обеспечит рациональное использование земельных и мелиоративных ресурсов, так как подразумевает применение наиболее плодородных и эффективных из них для восстановления территорий согласно целевому назначению земель и их приоритетным категориям.

Предлагаемый нетрадиционный мелиорант (ОСВ ЦБК) обладает рядом характеристик, определяющих его мелиоративный потенциал для восстановления ПРК: повышенной влагоемкостью, высоким содержанием органического вещества (> 90 %), фосфора, азота и ряда микроэлементов, в частности, Са ~7 %, Fe ~16,5 %, необходимых растениям. Кроме того, осадок нетоксичен, так как содержание тяжелых металлов соответствует требованиям ГОСТ, что подтверждено результатами лабораторных исследований. При внесении мелиоранта

совокупность данных характеристик улучшает структуру почвы и повышает устойчивость к процессам эрозии.

Результаты оценки применимости предлагаемого нетрадиционного мелиоранта, полученные в ходе эксперимента по воздействию на ранние стадии развития растений, а также на рост травянистых растений в течение всего вегетационного периода позволили установить оптимальные диапазоны доз внесения мелиоранта.

Фитотестированием – методом оценки воздействия мелиоранта на ранние стадии развития растений было подтверждено, что рациональное применение предлагаемого нетрадиционного мелиоранта не оказывает острого фитотоксичного воздействия, поскольку при внесении ОСВ ЦБК в дозировке от 20 до 60 % к почве не проявлялось токсичного воздействия на всхожесть семян (рисунки 4,5). Результаты анализа роста корней и ростков растений определили и доказали мелиорационный потенциал внесенного ОСВ в диапазоне доз от 10 до 40 % к почве. Результаты статистической обработки значений роста корней и ростков растений представлены на рисунке 6.

Определение применимости мелиоранта для восстановления растительного покрова на рекультивируемых ТНЗ проводилось на почвенно-растительных моделях: с необработанными почвами, почвами с внесением ОСВ ЦБК и почвами с внесением наиболее распространенного органического мелиоранта – торфосмеси; при соотношениях 1:1, 1:2 и 1:3 мелиорантов к почве. При моделировании сформировано 28 видов почвенно-растительных комплексов на отвальных породах фосфогипса, известкового щебня и пустой породы золоторудного месторождения (рисунок 7). Определены диапазоны доз внесения нетрадиционного мелиоранта, являющиеся экологически безопасными и при которых проявляется мелиорационный потенциал ОСВ.

На основе полученных результатов всхожести и анализа усредненного недельного прироста биомассы установлено, что почвенные модели с внесенными органическими мелиорантами в дозировке 1:3 улучшают всхожесть и прирост биомассы как при использовании торфосмеси, так и при применении нетрадиционного мелиоранта – ОСВ ЦБК, что было подтверждено статистической обработкой. Таким образом, можно утверждать, что ОСВ ЦБК обладает мелиорационным потенциалом при внесении в соотношении 1:3 к почве.

Рост и развитие растительного покрова описываются нелинейными моделями функций роста; для травянистых культур райграса *Lolium perenne* и овсяницы *Festuca pratensis* наиболее точно – сигмовидной кривой Гомперца (формула 1):

$$y = ae^{-e^{-k(t-t_c)}} \quad (1)$$

На основе полученных данных измерения роста травяного покрова путем математического моделирования кинетики роста в виде сигмовидных функций Гомперца и их коэффициентов корреляции можно сделать вывод, что развитие растительного покрова на сформированных моделях шло без отклонений и в пределах стандартной скорости роста ($r^2 = 0,85-0,99$), что подтверждает экологическую безопасность предлагаемого нетрадиционного мелиоранта (рисунки 8,9).

Согласно результатам проведенных исследований, определено количество для внесения предлагаемого нетрадиционного мелиоранта: при формировании минимально требуемого 20-сантиметрового слоя плодородной или потенциально плодородной почвы на рекультивируемых ТНЗ горного производства для восстановления травянистого растительного покрова следует вносить ОСВ ЦБП при соотношении 1:3 к почве, что в пересчете составляет 90 т/га при влажности осадка 70-80 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой предлагается новое ре-

шение актуальной научной задачи – экологически эффективное восстановление почвенно-растительного комплекса на территориях, нарушенных при разработке месторождений твёрдых полезных ископаемых с использованием нетрадиционных мелиорантов.

По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. Для экологически эффективного восстановления почвенно-растительного покрова на отвалах горной массы необходимо проведение работ по внесению органических мелиорантов в почвенный слой, что было подтверждено в результате анализа и систематизации техногенно нарушенных территорий горнодобывающей промышленности, составленной классификации видов мелиорантов, применимых для рекультивации.

2. ОСВ ЦБК обладает следующими характеристиками: повышенной влагоемкостью, высоким содержанием органического вещества, фосфора, азота и рядом микроэлементов, в частности, Са~7 %, Fe ~16,5 %, необходимых растениям, что свидетельствует о мелиорационном потенциале осадка для рекультивации нарушенных земель, кроме того, осадок нетоксичен, так как содержит тяжелые металлы в пределах нормы в соответствии с требованиями ГОСТ, что было подтверждено результатами лабораторных исследований.

3. Осадки сточных вод целлюлозно-бумажной промышленности относятся к нетрадиционным органическим мелиорантами с пролонгированным эффектом воздействия ввиду повышенного содержания органического вещества – > 90 % и высокого соотношения углерода к азоту (C:N > 30), что было доказано теоретическими и лабораторными исследованиями.

4. Разработанный и предложенный адаптированный косвенный метод анализа биомассы растительного покрова с использованием цифровой обработки данных – RGB-снимков (DIA) и индексом листовой поверхности (LAI) для комплекс-

ной оценки условий почвенно-мелиоративного слоя позволяет получать данные о росте и развитии растительного покрова в динамике и без разрушения растительного материала.

5. ОСВ при внесении в почву 20-60 % обладает мелиорационным потенциалом и является экологически безопасным, поскольку выявлена стимуляция роста растений и отсутствие острого фитотоксичного воздействия, что было доказано результатами экспериментальных исследований оценки воздействия на ранние стадии развития растений (фитотестирование).

6. Внесение осадка сточных вод ЦБК в соотношении 1:3 к почве обладает долговременным мелиорационным потенциалом и не вызывает хронического фитотоксичного воздействия, что было доказано экспериментальными исследованиями по оценке роста и развития растений в течение всего вегетационного периода, где было отмечено улучшение всхожести и значительный прирост биомассы, а также отсутствовали нарушения в росте и развитии растительного покрова.

7. Предложенный нетрадиционный мелиорант – ОСВ ЦБП при внесении 90 т/га (при влажности осадка 70-80%) результативен для экологически эффективного восстановления почвенно-растительного комплекса на территориях, нарушенных при разработке месторождений твёрдых полезных ископаемых. Внесение в почву возможно в сухом измельченном или гранулированном виде.

8. Также на основе результатов диссертационной работы было определено, что особо актуально развитие направления исследований в области создания рекультивационных слоев с учетом локальных природно-климатических условий для создания подобия антропогенно-генетических горизонтов почвогрунтов, где нижние горизонты представляют собой отвальные породы и их измельченный слой, средние горизонты переходные слоя, а верхние – грунтово-почвенные с внесением

нетрадиционных органических мелиорантов и частичном добавлении отвальных пород, для формирования более устойчивой антропогенно-природной экосистемы, способной к самовосстановлению без образования экоклиннов.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Петрова, Т.А. Виды мелиорантов для рекультивации техногенно нарушенных территорий горной промышленности / Т.А. Петрова, **Э. Рудзиш** // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 4. – С. 100–112.

2. Петрова, Т.А. Метод оценки эффективности мелиорантов при рекультивации нарушенных земель / Т.А. Петрова, **Э. Рудзиш** // Вестник Евразийской науки. – 2021 – Т. 13. – №6.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. Petrova, T.A. Rehabilitation of Disturbed Lands with Industrial Wastewater Sludge / Petrova T.A., **Rudzisha E.**, Alekseenko A.V., Bech J., Pashkevich M.A. – DOI: 10.3390/min12030376 // Minerals. – 2022. 12, no. 3: 376.

4. Pashkevich, M.A. Lignin sludge application for forest land reclamation: Feasibility assessment / Pashkevich M.A., Petrova T.A., **Rudzisha E.** – DOI: 10.31897/pmi.2019.1.106 // Journal of Mining Institute – 2019. – Т. 235. p. 106-112.

5. Petrova, T.A. Utilization of sewage sludge as an ameliorant for reclamation of technogenically disturbed lands / Petrova T.A., **Rudzisha E.** – DOI: 10.31897/PMI.2021.5.16 // Journal of Mining Institute – 2021. – Т. 251, p. 767-776.

Патент:

6. Патент № 2736648 Российская Федерация, МПК С09К17/00 (2020.08), В09С1/00 (2020.08), С02F3/02 (2020.08), С02F9/14(2020.08), С02F11/16(2020.08), С02F103/28(2020.08), С09К101/00(2020.08), В02С13/04(2020.08). Способ получения органического мелиоранта: № 2020125164: заявл. 29.07.2020: опубл. 19.11.2020 / Пашкевич М.А., Петрова Т.А., Смирнов Ю.Д., **Рудзиш Э.**; заявитель СПГУ. – 9 с. :1 ил.

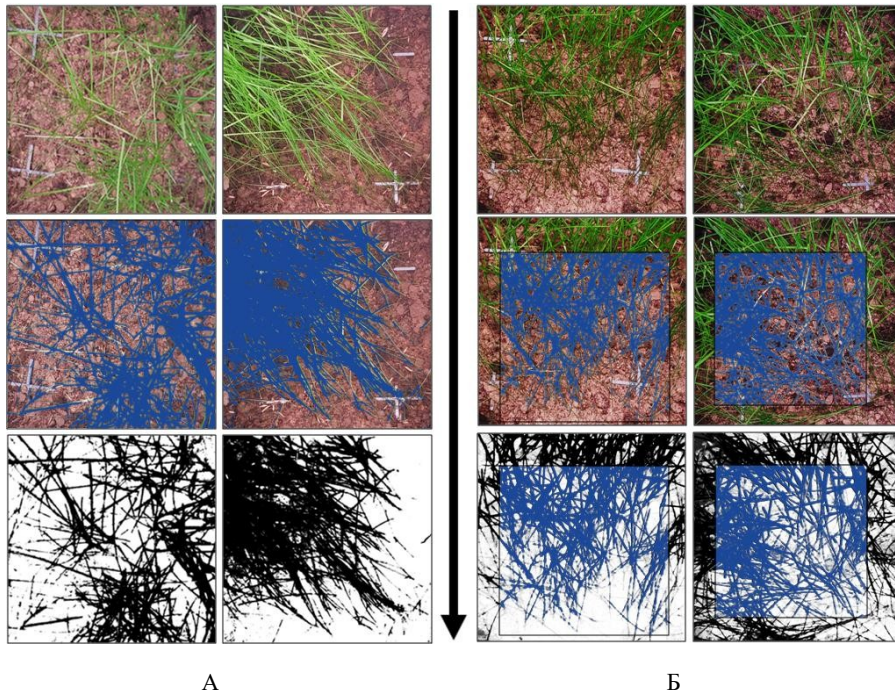


Рисунок 1 – Примеры поэтапной цифровой обработки RGB-снимков в ПО ImageJ: А группа – (1) исходные снимки, (2) выделение растровых изображений растительного покрова – «зеленых» пикселей, (3) дифференциация растровых изображений растительного покрова – «зеленых» пикселей – от фоновой части изображения (почвы и других включений); Б группа – (1) исходные снимки, (2) и (3) контроль точности результатов цифровой обработки

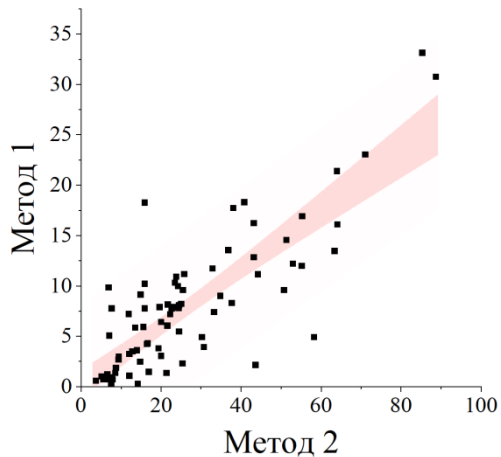


Рисунок 2 – Результаты сравнительного анализа по сериям оценки биологической продуктивности, где Метод 1 – классический подход – срез и измерение наземной биомассы; Метод 2 – альтернативный подход – цифровая обработка при расчете индекса листовой поверхности (LAI)

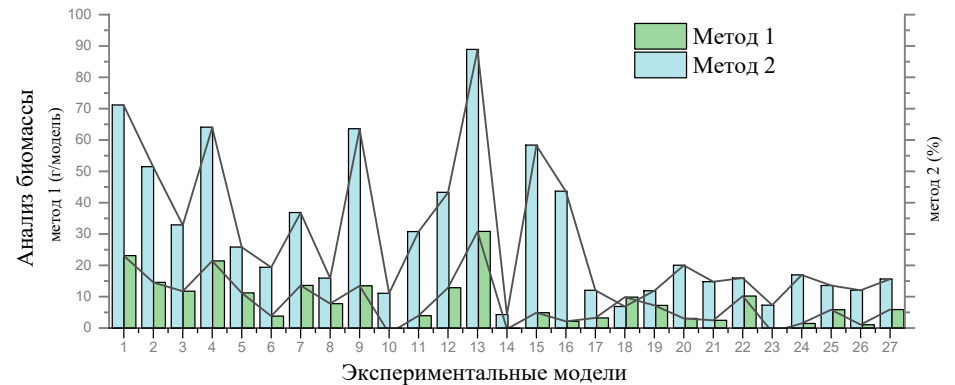
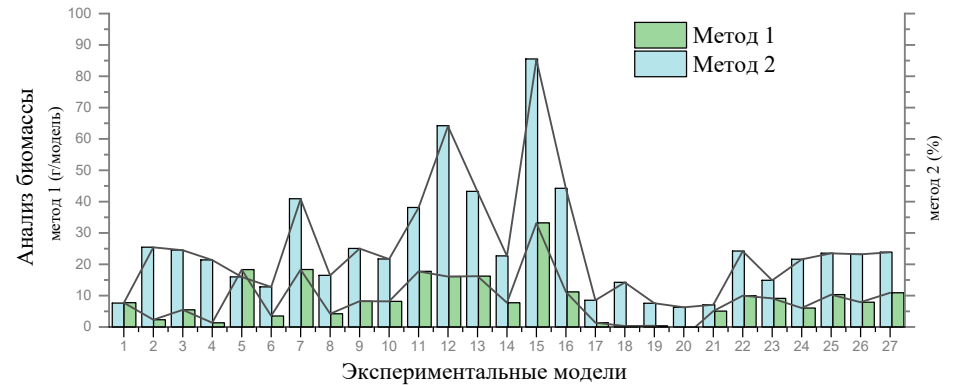
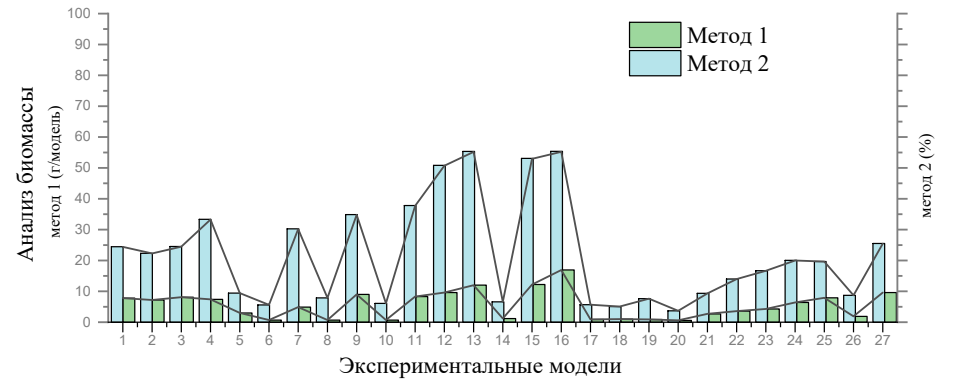


Рисунок 3 – Результаты трех серий оценки биологической продуктивности двумя методами (на 2, 4, 6 неделю): традиционный подход 1 – срез биомассы; предлагаемый метод 2 – цифровая обработка данных на 27 моделях: № 1-4 на почве, № 5-16 почва с торфосмесью, № 17-27 почва с ОСВ

Рисунок 8 – Группа из восьми графиков скорости прироста растительной биомассы по расчетам LAI (%):

А – на модели без слоя породы,

Б – на пустой породе золоторудного месторождения,

В – на фосфогилсе,

Г – на известняковом щебне,

А1, Б1, В1 и Г1 – на смеси почвы и ОСВ ЦБК,

А2, Б2, В2, и Г2 – на смеси почвы и торфа.

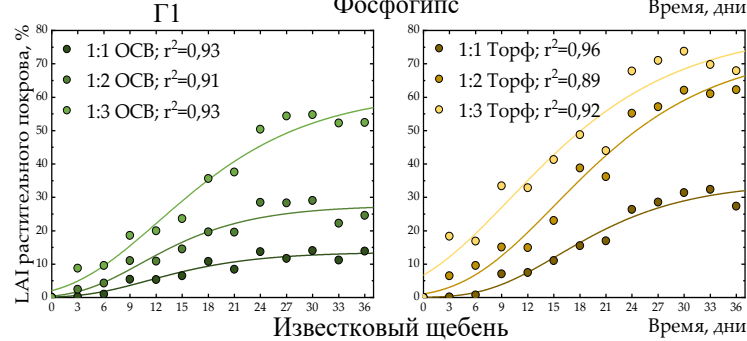
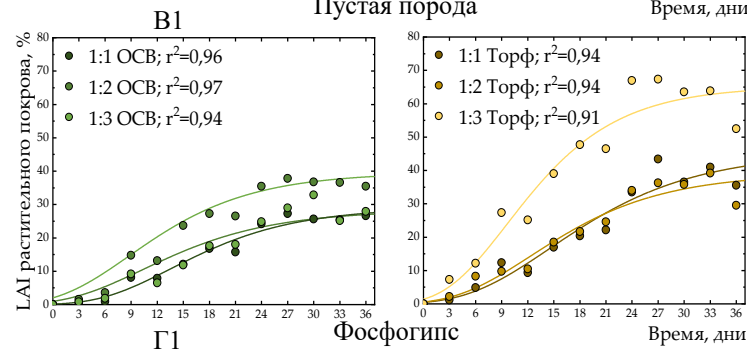
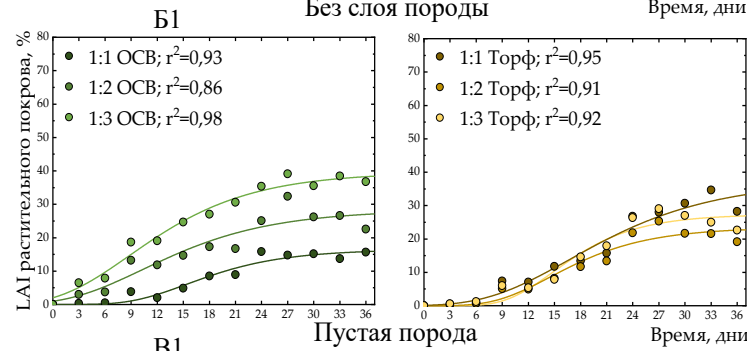
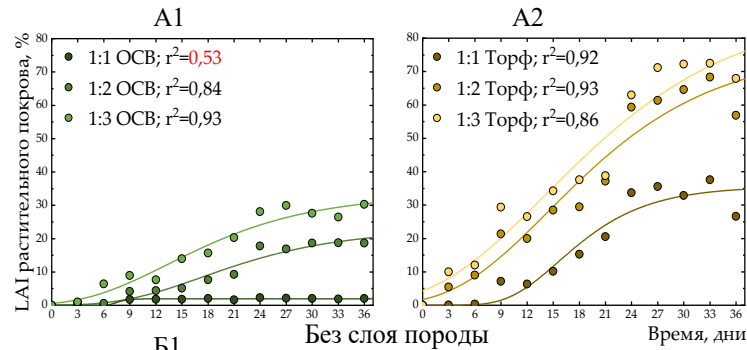


Рисунок 9 – Группа из восьми графиков высоты растительного покрова (см):

А – на модели без слоя породы,

Б – на пустой породе золоторудного месторождения,

В – на фосфогилсе,

Г – на известняковом щебне,

А1, Б1, В1, Г1 – на смеси грунта и ОСВ ЦБК,

А2, Б2, В2, Г2 – на смеси грунта и торфа.

