

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ
ПОЛЯРНО-АЛЬПИЙСКИЙ БОТАНИЧЕСКИЙ САД-ИНСТИТУТ
Кольского научного центра Российской академии наук»
(ПАБСИ КНЦ РАН)

Научный доклад об основных результатах научно-
квалификационной работы (диссертации)

Лусис Аделина Вадимовна

**«ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
НЕТРАДИЦИОННЫХ МЕЛИОРАНТОВ НА ОСНОВЕ
ОСВЕТЛЕННЫХ КОММУНАЛЬНЫХ СТОКОВ И ОСАДКА
СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ
ЛАНДШАФТОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РФ»**

Направление подготовки – **06.06.01 Биологические науки**

Направленность (профиль) – **03.01.05 физиология и биохимия**

Квалификация: **Исследователь. Преподаватель–исследователь**


Апатиты, 2021

Научно-квалификационная работа (диссертация) выполнена в лаборатории интродукции и акклиматизации растений Полярно-Альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина «Кольский научный центр Российской академии наук».

Научные руководители:


Член-корр. РАН, профессор

зав. лаб. интродукции ПАБСИ КНЦ РАН

 Жиров Владимир
Константинович

Д.б.н., доцент, зав. лаб.

ДЦиО ПАБСИ КНЦ РАН

 Иванова Любовь
Андреевна

Рецензенты:

к.б.н. науч. сотрудник лаборатории


декоративного цветоводства и озеленения

ПАБСИ КНЦ РАН

 Салтан Наталья
Владимировна

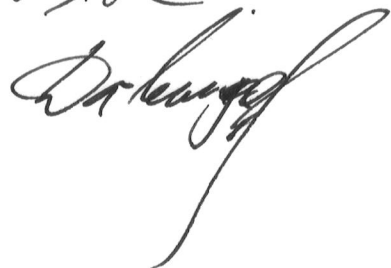
к.б.н. зам. директора по научной работе

Аграрно-технологического института РУДН

 Корнейкова Мария
Владимировна

Защита научного доклада состоится на заседании государственной экзаменационной комиссии «28» сентября 2021 г. в 15.00 часов в Малом актовом зале по адресу: 184209, Мурманская область, г. Апатиты Мурманская область, мкр. Академгородок, д. 18а

*Работа принята к защите
30 августа 2021.*



1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

1.1. Актуальность темы исследования

Минерально-сырьевая база является важнейшей составляющей индустриального развития Мурманской области, но одновременно и источником экологических проблем, поскольку значительная часть добываемого сырья складирована в виде отходов рудообогащения в хвостохранилищах, признающихся объектами накопленного экологического ущерба [51]. Активная эксплуатация месторождений полезных ископаемых региона способствовала формированию на его территории нескольких обширных хвостохранилищ отходов рудообогащения КФ АО «Апатит» (нефелиновых песков или хвостов) и песчаных карьеров, с пылящими песчаными поверхностями, полностью утратившими растительный покров (рис. 1). Водно-физические свойства таких техногенных грунтов имеют ярко выраженную фильтрующую способность и обуславливают их неустойчивость и подверженность воздействию ветровой и водной эрозии. Занимающие большие площади вблизи населенных пунктов, они приводят к запылению, загрязнению воздуха и источников водоснабжения окружающих территорий (рис. 2).



Рисунок 1. Хвостохранилище АНОФ-2



Рисунок 2 - Пыление отвалов в г. Апатиты

С другой стороны, хвостохранилища могут рассматриваться как техногенные месторождения, потенциально пригодные для промышленной переработки и получения в будущем качественных концентратов (апатитового, нефелинового, сфенового, эгиринового и титаномагнетитового) [11], а потому подлежащие сохранению. На основе концепции внедрения наилучших доступных технологий (НДТ) в области восстановления земель, нарушенных деятельностью горнопромышленных предприятий, выделено консервационное направление их биорекультивации [12]. Использование отвалов отходов недропользования и восстановление нарушенных почв, растительного покрова являются одними из основных направлений инновационного развития недродобывающего комплекса РФ [34, 72].

Для пылеподавления хвостов используется множество методов, из них наиболее часто применяют физико-химическую стабилизацию пылящих

поверхностей, гидрообеспыливание, и биорекультивацию после завершения эксплуатации хвостохранилищ [41].

В экстремальных условиях Мурманской области самозарастание оголенных площадей техногенно нарушенных территорий протекает крайне медленно [27, 28], на отвалах отходов рудообогатения оно практически невозможно. Биорекультивация хвостоотвалов путем создания на них растительного покрова признана наиболее радикальным методом закрепления их пылящих поверхностей [18]. Позднее был разработан ряд инновационных запатентованных экспресс-способов, позволяющих без применения почвенных компонентов, формировать высококачественные фитоценозы, значительно ускоряющие восстановительную сукцессию на хвостоотвалах [21, 22] (рис.3).



Рисунок 3 – Растительный покров, созданный на хвостохранилище АНОФ-2 за 2 года инновационным методом настила ковровой травяной дернины

При принятии рекультивационных мер по консервации хвостохранилищ как гидротехнических сооружений одним из определяющих факторов является питательный режим поверхностного слоя техногрунта, в частности, его НРК-статус. Относительно направления химической мелиорации нефелиновых песков в целях их устойчивого залужения как метода консервации показано, что из-за высокой подвижности калия в техногрунте подкормка растений калийными удобрениями не требуется [47]. Фосфор в нефелиновых песках находится в составе остаточного апатита в формах, слабо доступных для растений, поэтому приводятся доводы о невозможности развития создаваемого фитоценоза без дополнительного внесения минеральных фосфорных удобрений [18]. Отсутствие в хвостах органического вещества биогенного происхождения и связанного с ним азота признано причиной неизбежности ежегодного внесения азотных удобрений в рекультивируемый грунт [18].

1.2. Степень ее разработанности

Поскольку развитие фитоценоза на песчаных техногенных грунтах с низкой влагоемкостью, отсутствием одного или нескольких из основных элементов питания растений без дополнительных инвестиций дорогостоящих удобрений невозможно, актуален поиск и разработка способов использования более дешевых, замещающих удобрения, материалов для удешевления и повышения эффективности фиторекультивационных технологий. В связи с этим нами выдвинута гипотеза - одной из мер создания и поддержания устойчивости растительного покрова на хвостохранилищах (фитостабилизации) может являться их поверхностное орошение осветленными коммунальными стоками (ОКС) либо фрагментарное нанесение осадка сточных вод (ОСВ), изъятых с иловых площадок регионального предприятия водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ). Метод является разновидностью химической мелиорации, направленной прежде всего на улучшение эдафических свойств техногрунта. Мелиорирующий и удобрительный эффект связан с наличием в

коммунальных стоках органического вещества, легкодоступного для микробиоты, лабильностью азота, фосфора, калия и других элементов питания, обуславливающей их ассимиляцию растениями, а также высокой степенью гумификации ОСВ при длительном хранении на иловых площадках.

Благодаря высокому содержанию биогенных элементов, одним из наиболее рациональных путей решения проблемы утилизации ОСВ является применение их в сельскохозяйственном производстве в качестве нетрадиционных удобрений, что позволяет сэкономить на минеральных удобрениях до 600-1000 рублей на га [29]. Это особенно актуально в настоящее время, когда на поля вносится в среднем менее 2 т/га органических удобрений и повсеместно отмечается отрицательный баланс по органическому веществу почвы [6].

Применение муниципальных сточных вод для выращивания растений с различной целевой направленностью (заготовка и переработка кормовых и технических культур, овощеводство, садоводство) признано международной практикой эффективным и экономически целесообразным еще в прошлом столетии, что обусловлено многокомпонентным составом стоков с соотношением макро- и микроэлементов, благоприятным для удобрительных поливов [125, 110]. В настоящее время особый акцент делается на пригодность таких стоков для орошения как источников азота и фосфора, легкодоступных для растений [84]. Немаловажным фактором является благоприятное влияние стоков на повышение биологической активности почв/грунтов орошаемых территорий, связанное с высоким содержанием лабильных форм органического вещества [79], особенно микробного происхождения [104, 115]. Следует подчеркнуть, что во всем мире уделяется пристальное внимание оценке риска применения коммунальных стоков в системах поверхностного и внутрипочвенного орошения, а также в гидропонных установках, при этом проблема экологической безопасности в большинстве стран успешно решена [54, 52, 113, 108, 94, 77, 111, 99]. Тем не менее, в большинстве развивающихся страна продолжается использование коммунальных стоков либо вообще без

предварительной очистки, либо не полностью доведенных до санитарно-гигиенических нормативов. Согласно оценке, приведенной в [52], площадь сельскохозяйственных полей, орошаемых такими стоками, достигает в мире 3.5 млн. га.

В последние годы существенно расширяется область применения коммунальных стоков в горной промышленности, главным образом на месторождениях сульфидных руд [98, 121, 100, 119, 120]. Повышенное внимание к таким водам связано с их высокой кислотонейтрализующей и комплексообразующей способностью, и смешение с ними высокоагрессивных дренажных вод позволяет существенно снизить экологическую опасность побочных продуктов добычи в местах разработки руд цветных металлов. Патентный поиск показал, что и в отечественной практике предлагалось внедрение технологий орошения нарушенных территорий хозяйственно-бытовыми стоками [121]. При этом основным направлением признавалась активизация почвообразовательных процессов для эффективного задержания территорий, нарушенных золоотвалами и хвостохранилищами, однако широкого распространения в РФ такой способ не получил. Обзор международного опыта показал, что аналогами объектов для изучения процессов взаимодействия коммунальных стоков с песчаными грунтами хвостохранилищ могут являться медленные песчаные фильтры (SSF-«slow sand filters»). Модернизация таких объектов для эффективного применения в третичной очистке (доочистке) как в централизованных, так и в децентрализованных системах водоотведения выходит в настоящее время на новый технологический уровень [86, 90, 78, 98, 88, 117], в том числе в северных регионах [118, 78]. Весьма широко SSF-системы начинают применяться и в современных системах сбора и очистки дождевых вод для доведения их качества до нормативов питьевого водоснабжения, в частности, по микробиологическим показателям [98, 88, 101, 117].

Известно, что в силу продолжающегося применения устаревших технологий на большинстве предприятиях ВКХ РФ средней мощности

отсутствует стадия доочистки осветленных коммунальных стоков (ОКС) от азота и фосфора до уровня НДС, обеспечиваемого внедрением НДТ водоотведения [76]. В такой ситуации в водоприемники, зачастую являющимися одновременно и источниками питьевого водоснабжения, сбрасываются загрязненные стоки, что повышает биогенную нагрузку на водоемы. Одним из таких предприятий ВКХ является АО «Апатитыводоканал». Сброс «проблемных» стоков КОС-3 предприятия производится в озеро Имандра - крупнейшее водохранилище Мурманской области, экосистема которого весьма уязвима к изменению ее трофического статуса [103]. При этом при сбросах, помимо загрязнения водоема, безвозвратно теряются и все ценные компоненты, остающиеся в стоках предприятия после недостаточной очистки.

По содержанию ценных питательных веществ ОСВ равны подстилочному навозу животных. Однако наличие в них солей тяжелых металлов и патогенной микрофлоры негативно влияет на растения: тормозит рост растений, способствует образованию хлороза на листьях и приводит к нарушению водного обмена и их накоплению в почве [72]. Эти экологические проблемы изучаются в научных учреждениях стран Западной Европы, Канады, США, а также России, Белоруссии и Украины. Во многих из них имеются соответствующие рекомендации по безопасному применению ОСВ. Осадки положительно влияют на агрохимические показатели почвы, могут служить дополнительным резервом для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почве, способствует интенсивному накоплению биомассы сельскохозяйственных культур. Однако внесение ОСВ в дозах, более 30 т/га, может привести к избыточному содержанию токсичных элементов в почве, растениях. Поэтому ОСВ рекомендуется применять только для удобрения растений при устройстве газонов, питомников, цветники и др. [72].

Не маловажна и проблема утилизации осадков сточных вод (ОСВ) с каждым годом приобретает всё большую актуальность, так как их количество неуклонно возрастает [6]. Разработка агрономически эффективных и

экологически безопасных технологий утилизации ОСВ также является актуальной задачей, имеющей важное практическое значение, как для охраны окружающей среды, так и для сельского хозяйства [6]. В связи с поставленной проблемой встает задача оценки эффективности применения этих мелиорантов для повышения продуктивности фитоценозов.

Инициатором использования ОСВ для рекультивации нарушенных территорий Мурманской области явился «Мончегорскводоканал», впервые применивший ОСВ для фиторекультивации техногенных пустошей вблизи г. Мончегорск. Рекультивационные работы в промышленных масштабах проводились, начиная с 2003г силами Мончлесхоза при финансовой поддержке КГМК и научном руководстве ИППЭС ФИЦ КНЦ РАН. К настоящему времени проведена экспертная оценка принятых мер с подтверждением их эффективности [30, 31] и признанием альтернативой традиционным.

Распространение полученного опыта на другие предприятия области, в частности на АО «Апатитыводоканал», ограничивается отсутствием стадии обезвоживания осадка на этом предприятии, что связано с ограниченностью производственных площадей для дополнительного строительства. Решение проблемы обезвоживания ОСВ в перспективе позволит снизить транспортные издержки предприятия по доставке мелиоранта на ближайшие объекты накопленного экологического ущерба. Очистные сооружения (КОС-3 АО «Апатитыводоканал») территориально примыкают к резервному хвостохранилищу КФ АО «Апатит», с 2006 г являющегося модельным объектом для отработки методов рекультивации нефелиновых песков без землевания - на основе применения инновационных технологий [21, 22, 24, 95] и химической мелиорации с применением отходов производства и потребления [15, 63, 83, 124].

Таким образом, значительная потребность страны в минерально-сырьевых ресурсах, разработке и переработке месторождений, при которых на огромных площадях происходит уничтожение почв и растительного покрова,

а также сложности их естественного восстановления, обусловленные климатическими условиями, свойствами складированных отходов рудообогащения и пустой породы, низкими технико-экономическими показателями восстановления нарушенных земель, существующая проблема утилизации ОСВ и недостаточная изученность вопроса эффективного использования отходов производства и потребления регионального предприятия водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) предопределили актуальность исследований.

1.3. Цели и задачи

Цель исследования - разработать научные основы фиторекультивации техногеннонарушенных территорий (хвостохранилища и песчаного карьера) с применением осветленных коммунальных стоков (ОКС) и осадка сточных вод (ОСВ) местного предприятия ВКХ АО «Апатитыводоканал» в Арктической зоне РФ.

Задачи исследования:

1. Изучить возможности применение ОКС и ОСВ в качестве мелиорантов для фиторекультивации песчаных техногенно-трансформированных грунтов.
2. Исследовать особенности роста и развития многолетних растений в искусственно создаваемом фитоценозе в зависимости от типа грунта и вида мелиоранта.
3. Изучить влияние нетрадиционных удобрений на продуктивность растений и возможность применения информативных показателей ФСА для оценки эффективности применения мелиорантов.
4. Оценить экономическую эффективность разработанного способа фиторекультивации.

1.4. Научная новизна

В настоящей работе сделана попытка разработки теоретических и практических основ способа биорекультивации консервативной

направленности нефелиновых песков и песчаных карьеров без землевания в условиях Субарктики, с применением инновационных технологий и химической мелиорации нетрадиционными мелиорантами, основанного на натуральных наблюдениях и экспериментальном моделировании поверхностного орошения ими техногенных грунтов с подтверждением стимулирующего эффекта использования, которая могла бы способствовать частичному решению важных экологических задач: рациональному использованию отходов производства и потребления регионального водопроводно-канализационного хозяйства для восстановления объектов накопленного экологического ущерба и улучшение окружающей среды на Крайнем Севере.

Впервые в природоохранных целях при разработке эффективных реабилитационных мероприятий по рекультивации хвостохранилища апатитнефелинового производства и песчаного карьера в Субарктике в качестве мелиорантов применены в чистом виде, по отдельности и в комбинации ОКС после первичных отстойников и ОСВ местного предприятия ВКХ - АО «Апатитыводоканал».

Впервые подтверждена пролонгированность действия химической мелиорации нефелиновых песков с применением ОКС и ОСВ для повышения биогенности (NPK-статуса) грунта при создании растительного покрова как ускоренного способа консервации хвостохранилища.

1.5. Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость исследования. Выдвинута и подтверждена гипотеза о высокой мелиоративной способности отходов производства и потребления регионального водопроводно-канализационного хозяйства, характеризующихся высоким содержанием легкодоступного для микробиоты органического вещества, а также лабильностью азота, фосфора и калия, обуславливающей их ассимиляцию растениями, для восстановления объектов накопленного экологического ущерба и улучшение окружающей среды на Крайнем Севере.

Сформулирована концепция ускоренного формирования высококачественного растительного покрова из многолетних травянистых растений в условиях Крайнего Севера.

Обоснованы и установлены закономерности роста и развития искусственных фитоценозов в зависимости от типа техногенного грунта и вида мелиоранта.

Практическая значимость исследования очевидна, так как предприятия горнопромышленного комплекса являются одним из крупнейших источников существенного негативного воздействия на окружающую среду, затрагивающим практически все ее элементы.

Проблема утилизации коммунальных стоков актуальна для всех предприятий жилищно-коммунального комплекса Мурманской области. Решение проблемы сверхнормативных сбросов предприятиями ВКХ направлено на смягчение экологической проблемы эвтрофикации поверхностных вод, актуальной для региона.

Предлагаемый метод реабилитации техногенно нарушенных земель с использованием отходов производства и потребления регионального ВКХ в условиях Субарктики прошел частичные комплексные опытно-промышленные испытания.

Дана экономическая оценка способу фиторекультивации земель, нарушенных при размещении отходов горнообогатительного производства с применением ОКС и ОСВ.

Предлагаемые меры будут способствовать росту прибыли предприятий ВКХ за счет снижения штрафных санкций за сверхнормативный сброс отходов, а также возможности совершенствования технологических процессов.

Полученный опыт найдет дальнейшее продолжение в решении вопросов рекультивации нарушенных территорий, в том числе на объектах накопленного экологического ущерба, в частности, для закрепления пылящих

поверхностей разных типов хвостохранилищ, песчаных карьеров, строительных площадок на территории Мурманской области.

Проведенные исследования были поддержаны грантом РФФИ и Министерства образования и науки Мурманской области. Проект 17-45-510205: «Дефосфотация коммунальных стоков в условиях снижения водопотребления» в 2017-2019 гг.

1.6. Методы исследования

Полевые исследования выполнены на локальных нарушенных территориях Мурманской области: резервном апатитонепелиновом хвостохранилище АНОФ-2 АО «Апатит» и песчаном карьере АО «Апатитыводоканал». Лабораторные эксперименты проводились в помещении.

1.7. Положения, выносимые на защиту

Осветленные коммунальные стоки и осадок сточных вод АО «Апатитыводоканал», характеризующиеся высоким содержанием легкодоступного для микробиоты органического вещества, а также лабильностью азота, фосфора и калия, являются эффективными мелиорантами, повышающими биогенность (NPK-статус) техногенного грунта, способными создавать благоприятные для выращивания растений эдафические условия на апатитонепелиновых отвалах отходов рудообогащения (хвостах) и песчаных карьерах в зоне рискованного земледелия.

Мелиоранты ОКС и ОСВ пригодны для альтернативы традиционным методам биорекультивации техногрунтов и консервации вторичного минерального сырья на Крайнем Севере, при использовании будут способствовать снижению отрицательного влияния складированных отходов на окружающую среду.

Сообщество, сформированное на песчаном техногенном субстрате из многолетних травянистых растений с применением нетрадиционных мелиорантов и без землевания, способно к самостоятельному существованию,

устойчиво к пылению, способствует начальному этапу восстановительной сукцессии.

Предлагаемый метод, основанный на комплексном использовании влагоемких отходов регионального предприятия АО «Апатитыводоканал» и устойчивых к техногенной нагрузке многолетних травянистых растений, является эффективным, экономически обоснованным способом фиторекультивации земель, нарушенных при размещении отходов горнообогатительного производства и строительства, в условиях Субарктики.

1.8. Степень достоверности и апробация результатов

Апробация и внедрение исследования (публикации, выступления на конференциях, заседаниях Ученого совета и пр.). Библиографический список публикаций по работе включает 6 статей:

1. Лусис А.В., Горбачева Т.Т., Иванова Л.А., Макаров Д.В. Осветленные коммунальные стоки (ОКС) как нетрадиционный мелиорант (лабораторные опыты по биотестированию на *Phleum pratense* L.). XVIII международная молодежная научная конференция «Экологические проблемы недропользования. Наука и образование». Материалы конференции / Под ред. проф. В.В. Куриленко. – СПб.: Изд-во «ЛЕМА», 2018. С. 42-44. ISBN 978-5-00105-349-1. РИНЦ.

2. Горбачева Т.Т., Иванова Л.А., Макаров Д.В., Лусис А.В. Оценка пригодности осветленных коммунальных стоков (ОКС) для стимулирования восстановительной сукцессии на хвостохранилищах. XVIII международная молодежная научная конференция «Экологические проблемы недропользования. Наука и образование». Материалы конференции / Под ред. проф. В.В. Куриленко. – СПб.: Изд-во «ЛЕМА», 2018. С. 68-70. ISBN 978-5-00105-349-1. РИНЦ.

3. Иванова Л.А., Горбачева Т.Т., Макаров Д.В., Румянцева А.В., Лусис А.В., Коница О.Т. Применение ковровой дернины при биологической

рекультивации хвостохранилищ в условиях Крайнего Севера//Гидротехническое строительство. №7. 2019. С. 89-94. СКОПУС, ВАК.

4. А.В. Лусис, Т.Т. Горбачева, Л.А. Иванова Применение осветленных коммунальных стоков (ОКС) и осадка сточных вод (ОСВ) в качестве мелиорантов для рекультивации отвалов отходов рудообогачения (хвостов) // Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019» (23 – 26 сентября 2019 г.) / под ред. Л. И. Лукиной, Н. В. Ляминой. – Севастополь: СевГУ, 2019. С. 940-944. ISBN 978-5-6041740-3-6. РИНЦ.

5. Т.Т. Горбачева, А.В. Лусис, Л.А. Иванова Химическая мелиорация нефелиновых песков с применением осадка сточных вод регионального предприятия ВКХ // Вестник МГТУ, 2021, Т. 24, № 1. С. 88-96. ВАК.

Основные положения работы докладывались и обсуждались на XVIII международной молодежной научной конференции «Экологические проблемы недропользования (2018 г., г. Санкт-Петербург), международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019» (2019 г., г. Севастополь), всероссийской научной конференции с международным участием «Актуальные вопросы изучения и сохранения растительного мира Арктики и горных районов» (2021 г., г. Апатиты), а также на 8 заседаниях Ученого совета Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Значительная потребность страны в минерально-сырьевых и энергетических ресурсах и ограниченность их запасов в районах с благоприятным климатом определяют необходимость разработки месторождений и переработки полезных ископаемых в условиях сурового климата, вследствие чего происходит уничтожение почв и растительного покрова. Естественное восстановление нарушенных территорий на Крайнем Севере связано со сложностями, обусловленными зонально-географическими условиями, системой разработки месторождений, свойствами складированных пород и отходов, технико-экономическими показателями восстановления нарушенных земель [1].

В практике горно-рудных предприятий РФ одним из способов экологической реабилитации обширных территорий хвостохранилищ является отведение их части под самозарастание. При превышении площади проективного покрытия участков самозарастания более чем на 50% дополнительных мер стимулирования, как правило, не требуется. Такой подход существенно повышает экономическую эффективность работ, проводимых недропользователем для реабилитации нарушенных земель. В настоящее время в качестве техногенных удобрений находят применение иловые осадки после биологической очистки хозяйственно-бытовых (канализационных) сточных вод. Поэтому одной из мер улучшения качества нефелиновых песков как субстрата для рекультивации может являться его орошение отходами местного водопроводно-канализационного хозяйства ВКХ АО «Апатитыводоканал» - осветленными коммунальными стоками (ОКС) и осадком сточных вод (ОСВ).

В число крупнейших объектов накопленного экологического ущерба на территории Мурманской области входит хвостохранилище отходов

рудобогащения (нефелиновых песков) АНОФ-2 АО «Апатит». Они состоят в основном из нефелина и сопутствующих материалов, соотношение которых изменяется в зависимости от состава поступающей руды. По химическому составу нефелиновые пески отличаются от зональных почв, кремнезема. Содержание фосфора в них на порядок выше, чем в зональных почвах, поскольку присутствует апатит, не полностью извлеченный из руды при ее обогащении. Количество калия в хвостах также значительно больше, чем в зональных почвах. Таким образом, данные по химическому составу (табл. 1) хвостов свидетельствуют о благоприятных предпосылках для выращивания растений не только в целях закрепления их поверхности от развеивания, но и для создания продуктивных сельскохозяйственных угодий. Однако, показатели наименьшей влагоемкости в нефелиновых песках значительно ниже, чем в почвах аналогичного гранулометрического состава. Это связано с полным отсутствием в отвальных песках органического вещества, которое во многом определяет водные свойства и водный режим почв.

ОКС АО «Апатитыводоканал» по химическим показателям пригодны для ускорения ренатурационных процессов на хвостохранилищах региона и соответствуют показателям СанПиН 2.1.7.573-96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения» в части оценки их токсичности по проращиванию семян сельскохозяйственных культур.

Были проведены лабораторные и полевые опыты для оценки возможности использования нетрадиционного мелиоранта на основе осветленных коммунальных стоков (ОКС) и осадка сточных вод (ОСВ) для стимулирования восстановительной сукцессии на различных субстратах. Также была дана оценка эффективности и пролонгированного действия химической мелиорации нефелиновых песков ОКС и ОСВ для повышения биогенности (НРК-статуса) техногрунта при создании растительного покрова как способа консервации хвостохранилища. Для оценки влияния нетрадиционных видов удобрений, в качестве которых использовали ОСВ и

ОКС на продуктивность посевов тимофеевки луговой при мелиорации площадей с отходами нефелинового производства ОАО «ФосАгро» провели лабораторный рекогносцировочный эксперимент в течение месяца.

Для возможности практического применения нетрадиционных мелиорантов для стимулирования восстановительной сукцессии на хвостохранилищах была проведена оценка экономической эффективности проведения данной рекультивации по сравнению с классическими способами рекультивации техногенных пустошей.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Мелиоранты ОКС и ОСВ пригодны для биорекультивации земель, нарушенных при добыче апатитнефелинового концентрата и песчаных карьеров в условиях Заполярья без проведения землевания и нанесения защитных полимерных реагентов.
2. Нетрадиционные удобрения (ОКС и ОСВ) оказали на показатели продуктивности не меньший эффект, чем традиционные («Аммофос»).
3. С экономической точки зрения эффективность применения ОСВ намного выше, если учитывать доступность и дешевизну этого мелиоранта.
4. Выявлено увеличение суммарного содержания хлорофиллов у растений тимофеевки луговой, больше за счет хлорофилла b, при воздействии на почву нетрадиционных удобрений.
5. Компоненты пигментного комплекса (суммарное содержание хлорофиллов) можно использовать в качестве тестовой характеристики потенциальной продуктивности отдельных растений и посевов в целом. Однако прогноз будет более точным при проведении полевого продолжительного эксперимента с учетом всех фаз развития растения, так как у злаковых наибольшая продуктивность работы единицы хлорофилла отмечается в период активного роста – колошения. Особого внимания заслуживает вопрос о применимости ХИ для оценки стока

углерода и годичной продукции фитоценоза.

4. СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ (ДИССЕРТАЦИИ)

Библиографический список публикаций по работе включает 6 статей:

1. Лусис А.В., Горбачева Т.Т., Иванова Л.А., Макаров Д.В. Осветленные коммунальные стоки (ОКС) как нетрадиционный мелиорант (лабораторные опыты по биотестированию на *Phleum pratense* L.). XVIII международная молодежная научная конференция «Экологические проблемы недропользования. Наука и образование». Материалы конференции / Под ред. проф. В.В. Куриленко. – СПб.: Изд-во «ЛЕМА», 2018. С. 42-44. ISBN 978-5-00105-349-1. РИНЦ.
2. Горбачева Т.Т., Иванова Л.А., Макаров Д.В., Лусис А.В. Оценка пригодности осветленных коммунальных стоков (ОКС) для стимулирования восстановительной сукцессии на хвостохранилищах. XVIII международная молодежная научная конференция «Экологические проблемы недропользования. Наука и образование». Материалы конференции / Под ред. проф. В.В. Куриленко. – СПб.: Изд-во «ЛЕМА», 2018. С. 68-70. ISBN 978-5-00105-349-1. РИНЦ.
3. Иванова Л.А., Горбачева Т.Т., Макаров Д.В., Румянцева А.В., Лусис А.В., Кони́на О.Т. Применение ковровой дернины при биологической рекультивации хвостохранилищ в условиях Крайнего Севера//Гидротехническое строительство. №7. 2019. С. 89-94. СКОПУС, ВАК.
4. А.В. Лусис, Т.Т. Горбачева, Л.А. Иванова Применение осветленных коммунальных стоков (ОКС) и осадка сточных вод (ОСВ) в качестве мелиорантов для рекультивации отвалов отходов рудообогачения (хвостов) // Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019» (23 – 26 сентября 2019 г.) / под ред. Л. И. Лукиной, Н. В.

Ляминой. – Севастополь: СевГУ, 2019. С. 940-944. ISBN 978-5-6041740-3-6. РИНЦ.

5. Т.Т. Горбачева, А.В. Лусис, Л.А. Иванова Химическая мелиорация нефелиновых песков с применением осадка сточных вод регионального предприятия ВКХ // Вестник МГТУ, 2021, Т. 24, № 1. С. 88-96. **ВАК**.

Основные положения работы докладывались и обсуждались на XVIII международной молодежной научной конференции «Экологические проблемы недропользования (2018 г., г. Санкт-Петербург), международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019» (2019 г., г. Севастополь), всероссийской научной конференции с международным участием «Актуальные вопросы изучения и сохранения растительного мира Арктики и горных районов» (2021 г., г. Апатиты), а также на 8 заседаниях Ученого совета Полярно-альпийского ботанического сада-института им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН.