

На правах рукописи



ЛУСИС АДЕЛИНА ВАДИМОВНА

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ПЫЛЯЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
АПАТИТОНЕФЕЛИНОВОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА
В УСЛОВИЯХ КОЛЬСКОГО СЕВЕРА**

Специальность 1.6.21. – «Геоэкология» (технические науки)

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

Москва – 2024

Работа выполнена в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте им. Н.А. Авворина – обособленном подразделении Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ПАБСИ КНЦ РАН)

Научный руководитель:

Иванова Любовь Андреевна, доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник ПАБСИ КНЦ РАН, ведущий научный сотрудник Института проблем промышленной экологии Севера (ИППЭС КНЦ РАН).

Официальные оппоненты:

Ульрих Дмитрий Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры водопользования и экологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»;

Рукавицын Вадим Вячеславович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры экологии и природопользования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе».

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН).

Защита состоится «08» октября 2024 г. на заседании диссертационного совета 24.1.096.01 в Институте проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН) по адресу: 111020, Москва, Крюковский тупик, 4; тел./факс 8(495) 360-89-60.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять в адрес совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПКОН РАН и на сайте www.ipkonran.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук



Матвеева Т.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью решения приоритетных задач в соответствии с Указами Президента РФ № 176 от 19 апреля 2017 г. «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года»: п. 11 р) устранение негативных последствий для окружающей среды хозяйственной и иной деятельности человека».

Активная эксплуатация месторождений полезных ископаемых в Мурманской области способствовало возникновению на ее территории многочисленных карьерных выработок и 17 крупнейших техногенных массивов класса хвостовых отвалов с полностью утратившими растительный покров пылящими песчаными поверхностями. Занимающие большие площади вблизи населенных пунктов, они приводят к запылению и химическому загрязнению атмосферного воздуха, нарушению почв, биоты, поверхностных и подземных вод, что отрицательно сказывается на здоровье населения.

В условиях Крайнего Севера именно биологический этап рекультивации, как комплекс восстановительных мероприятий нарушенной биоты, остается актуальным. Однако он проблематичен без дополнительных инвестиций в дорогостоящие удобрения, из-за дефицита окультуренных и низкого питательного статуса местных почв, отсутствия в регионе торфоразработок, сложности подбора видов-рекультивантов и обусловлен высокой степенью фрагильности экосистем. Это требует поиска, разработки новых перспективных и, адаптированных к экологическим и экономическим особенностям региона, восстановительных способов.

В этой связи большой интерес представляют продукты переработки региональных водоканализационных хозяйств (ВКХ) – осветленные коммунальные стоки и осадки сточных вод. Данный метод является разновидностью химической мелиорации, направленной прежде всего на улучшение эдафических свойств техногрунтов. Однако они характеризуются непостоянством состава, могут содержать набор вредных химических веществ и пр., поэтому для их успешного применения в качестве мелиорантов малопродуктивных угодьев актуально изучение каждого из них в конкретных условиях рекультивируемых территорий.

Значительный вклад в изучение влияния горных предприятий на окружающую среду и ликвидации накопленного ущерба, рекультивации нарушенных территорий внесли российские и зарубежные ученые: академик В.А. Чантuria, Г.В. Карабин, Т.И. Моисеенко, В.Н. Макаров, Д.В. Макаров, С.П. Месяц, Л.П. Капелькина, Переверзев В.Н., Евдокимова Г.А., М. Ж.Н. Fu, М. Lindsay, A. Tapiaa, P. Thomas и др.

Цель исследований — обоснование технологии экологической стабилизации пылящих поверхностей хранилищ горнопромышленных отходов в условиях Кольского Севера.

Идея работы заключается в том, что экологическая стабилизация хранилищ твердых песчаных отходов обеспечивается за счёт утилизации различных типов отходов селитебного комплекса в соотношениях, определяемых структурой видового состава формируемого противоэрозийного фитоценоза.

Задачи исследования:

Провести литературный обзор современного состояния и проблемы антропогенно-трансформированных земель в условиях Кольского Севера;

Оценить возможности использования мелиорантов на основе осветленных коммунальных стоков для экологической стабилизации пылящих поверхностей хранилищ горнорудных отходов в условиях Кольского Севера;

Провести лабораторные исследования возможности использования мелиоранта на основе осветленных коммунальных стоков для стимулирования восстановительной сукцессии на хвостохранилище и формирования искусственного фитоценоза на разных субстратах;

Оценить эффективность химической мелиорации нефелиновых песков с использованием осветленных коммунальных стоков и осадков сточных вод;

Предложить технологию экологической стабилизации пылящих поверхностей хранилищ горнорудных отходов в условиях Кольского Севера;

Дать практические рекомендации по использованию осветленных коммунальных стоков и осадков сточных вод для экологически эффективной ревитализации, нарушенных горными работами, ландшафтов в условиях Кольского Севера;

Дать экономическую оценку ревитализации, нарушенных горными работами, ландшафтов с применением предлагаемых мелиорантов на основе отходов селитебного комплекса (осветленных коммунальных стоков и осадков сточных вод).

Научная новизна:

Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены экологически эффективная возможность и способы биорекультивации техногенных пылящих поверхностей с использованием отходов селитебного комплекса на Кольском Севере за счет целенаправленного формирования эдафических свойств техногрунтов и, соответствующего их структуре, видового состава противовоздушных травяных фитоценозов.

Применение мелиорантов на основе осветленных коммунальных стоков стимулирует восстановительную сукцессию на апатитонефелиновом хвостохранилище и положительно влияет на прорастание семян и дальнейший рост и развитие растения-эдификатора тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) в искусственно создаваемом фитоценозе.

Эффективность стабилизации пылящих поверхностей определяется совокупностью подбора травосмеси из видов эдификаторной группы, характеризующихся интенсивным корнеобразованием, а также составом мелиорантов и способом их нанесения на поверхность техногрунта для формирования высококачественного противоэрозионного фитоценоза.

Оценка состояния искусственно созданного многолетнего противоэрозийного фитоценоза на основе определения эффективности работы фотосинтетического аппарата доминантного вида овсяницы красной (*Festuca rubra* L.) подтверждает наибольшую перспективность использования

фрагментарного способа нанесения осадка сточных вод при проведении восстановительных мероприятий на пылящих песчаных техногрунтах.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что, сформированный при проведении исследований на Кольском Севере, общеметодологический подход к выбору оптимального уровня мелиорирующего и удобрительного эффекта комплексных смесей жидких бытовых отходов, исходя из экологически обусловленных темпов изменений биологической продуктивности и проективного покрытия травяных противоэрозионных ценозов может быть использован в качестве основы для разработок методов экологической стабилизации пылящих техногенных поверхностей в любых других климатических зонах.

Практическая значимость работы:

Разработанные научно-методические приемы биорекультивации обширных техногенных массивов в зоне добычи и переработки полезных ископаемых на основе использования отходов селитебного комплекса, будут способствовать ускоренному и эффективному восстановлению противоэрозийных травяных биогеоценозов на нарушенных территориях, а также мобилизации потенциала земель и возвращения их в хозяйственный оборот и природную экосистему, что особенно важно в арктических условиях.

Накопленный положительный опыт по биологической рекультивации песчаных карьеров и отвалов хвостов рудообогащения АНОФ-2 АО «Апатит» с применением мелиорантов, меньшие природно-ресурсные затраты и невысокие материальные издержки дают возможность тиражировать предлагаемый способ на другие промышленные объекты с нарушенными землями в Мурманской области, делают его весьма перспективным для распространения в остальные Арктические регионы РФ.

Применение нетрадиционных почвоулучшителей для восстановления нарушенных ландшафтов будет способствовать рациональной утилизации огромных накоплений токсичных отходов местных канализационно-очистных сооружений, росту прибыли водопроводно-канализационных хозяйств за счет снижения штрафных санкций за их сверхнормативный сброс, а также возможности совершенствования технологических процессов на этих предприятиях.

Объекты исследований: отвалы отходов рудообогащения АНОФ-2 КФ АО «Апатит», песчаный карьер, отходы производства и потребления регионального ВКХ АО «Апатитыводоканал» - осветленные коммунальные стоки (ОКС) и осадки сточных вод (ОСВ), нефильтрованная дождевая вода, термовермикулит марки «Виплон-2», 12 видов многолетних травянистых и 1 вид древесных растений, минеральные удобрения «Аммофос».

Методы исследований. Аналитическая работа выполнена в специализированных аккредитованных лабораториях ФГБУН ФИЦ КНЦ РАН с применением современного оборудования (атомно-абсорбционного спектрометра с пламенной атомизацией, AAnalyst 400 Perkin Elmer, масс-спектрометра с индуктивно связанный плазмой ELAN 9000 PerkinElmer, спектрофотометра UV-1800 (Shimadzu, Япония), инфракрасного газоанализатора LI-COR-850 (LI-COR, США) и др.).

Отбор проб техногенно-трансформированных грунтов, надземной части растений и отходов селитебного комплекса проводился в соответствии с действующими ГОСТ и методиками.

Для анализа естественных и антропогенных сообществ на территориях объектов исследований использовали общепринятые геоботанические методики осуществления полевых экспериментов.

Латинские названия растений приведены в соответствии с World Flora Online.

Обработка полученных результатов выполнена с применением статистических методов, в том числе однофакторного дисперсионного анализа (one-way ANOVA) в программных продуктах Microsoft Excel.

Захищаемые положения:

Эффективное закрепление пылящих поверхностей хранилищ тонкодисперсных отходов в условиях Кольского Севера и отсутствия на территории плодородных пород для отсыпки нарушенных поверхностей, достигается в течение уже первого года вегетации видов-эдификаторов в составе травосмеси путем формирования противоэрозийного растительного покрова с высоким проективным покрытием и мощной травяной дерниной при воздействии разных типов жидких отходов канализационно-очистных сооружений.

2. Механизм ревитализации ландшафтов техногенных новообразований из отходов обогащения заключается в снижении подвижности тонкодисперсных фракций в их приповерхностной зоне за счет ускоренного развития восстановительной сукцессии в направлении воспроизведения там экологически устойчивых, самостоятельно существующих и развивающихся, растительных сообществ.

3. Отходы селитебного комплекса (осветленные коммунальные стоки и осадки сточных вод) характеризующиеся высоким содержанием легкодоступного для микробиоты органического вещества, а также лабильностью питательных элементов, способствующие повышению доступности калия и фосфора за счет их мобилизации из апатито-нефелиновых песков, дальнейшей ассимиляции растениями азота, фосфора и калия, являются эффективными почвоулучшителями стимулирующего и пролонгирующего действия, повышающими биогенность малопродуктивных техногенных грунтов, способными создавать на них в зоне рискованного земледелия благоприятные для выращивания растений эдафические условия.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается применением современной приборной базы, апробированных методов анализа и статистической обработки фактического материала, представительностью и значительным объемом исходных данных, использованием общепринятых критериев оценки полученных результатов; подтверждается согласованностью выводов теоретического анализа и данных эксперимента, удовлетворительной сходимостью результатов измерений и экспериментальных исследований, апробацией на научных конференциях, форумах и практической реализацией полученных результатов.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований, изложенные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались на: XVIII Международной молодежной научной конференции «Экологические проблемы недропользования. Наука и образование» (Санкт-Петербург, 2018),

Международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019» (Севастополь), Всероссийской научной конференции с международным участием «Актуальные вопросы изучения и сохранения растительного мира Арктики и горных районов» (Апатиты, 2021), V конференции Международной научной школы академика РАН К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» ИПКОН им. академика Н.В. Мельникова РАН (Москва, 2022), Международном симпозиуме «Неделя Горняка» (Москва, 2023, 2024), Международной конференции «Современные проблемы комплексной и глубокой переработки природного и нетрадиционного минерального сырья» («Плаксинские чтения – 2023»), (Москва), 16 Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых», (Москва, 2023).

Личный вклад автора. Все полевые и лабораторные эксперименты, включая их постановку и проведение, определение цели и задач исследований, анализ зарубежной и отечественной научной литературы по теме работы, отбор почвенных и растительных проб, получение экспериментальных данных, их камеральная и статистическая обработка, обобщение и интерпретация полученных результатов проводились лично соискателем, или при его непосредственном участии.

Публикации. По теме работы опубликовано 12 печатных трудов, в том числе: 1 – монографическая работа, 2 – в рецензируемых журналах, индексируемых в Scopus, 3 в журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки РФ, и 6 – в сборниках и материалах конференций различного ранга.

Исследования проведено по 2 плановым госбюджетным тематикам НИР ПАБСИ КНЦ РАН (НИОКР 122011900097-6, АААА-А18-118050390076-8) и при финансовой поддержке РФФИ и Минобрнауки МО (проект 17-45-510205).

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованной литературы и 2 приложений. Она изложена на 171 странице, включает 30 таблиц, 39 рисунков. Список литературы составляет 201 источник, из них 66 иностранные.

Благодарности. Автор глубоко признателен научному руководителю, д.б.н. Л.А. Ивановой, советнику председателя КНЦ РАН, действительному члену РАЕН, д.т.н. В. А. Маслобоеву, к.б.н. Т.Т. Горбачевой; выражает особую благодарность за оказанную поддержку и помочь д.б.н. Шмаковой Н.Ю., к.б.н. Шпак О.Н., к.б.н. Румянцевой А.В., к.х.н. Дрогобужской С.В. и главному технологу цеха водоотведения АО «Апатитыводоканал» Горбачеву А.А.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введение обоснована актуальность проблемы, сформулированы цель, идея и задачи исследований, научная новизна и практическая значимость, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен краткий анализ современного состояния и проблем антропогенно-трансформированных земель в Мурманской области и методы снижения негативного воздействия на природные экосистемы, рассмотрены, адаптированные для региона, технологии биорекультивации нарушенных ландшафтов, освещены вопросы, связанные с использованием ОКС и ОСВ для реабилитации нарушенных территорий.

В второй дана краткая характеристика района исследования и агроклиматических условий, описаны объекты и методы исследований.

В третьей проведена оценка возможности использования мелиоранта на основе осветленных коммунальных стоков для экологической стабилизации пылящих поверхностей хранилищ горнoprомышленных отходов на Кольском Севере.

В четвёртой изучена химическая мелиорация нефелиновых песков с использованием осветленных коммунальных стоков и осадков сточных вод.

В пятой приведено обоснование технологии экологической стабилизации пылящих поверхностей хранилищ горнoprомышленных отходов в условиях Кольского Севера. Предложены практические рекомендации по использованию отходов селитебного комплекса. Данна экономическая оценка ревитализации нарушенных горными работами ландшафтов с применением предлагаемых мелиорантов (осветленных коммунальных стоков и осадков сточных вод).

В заключении приведены основные выводы, полученные по результатам выполненных исследований.

Использование мелиоранта на основе осветленных коммунальных стоков для стимулирования восстановительной сукцессии на апатитонефелиновом хвостохранилище

Хвосты апатитовой и нефелиновой флотации АНОФ-2 состоят в основном из нефелина и сопутствующих материалов, соотношение которых изменяется в зависимости от состава поступающей руды. Их поверхностный слой на 70-80 % массы характеризуется преобладанием фракций с размером зерен - 0,5+0,25мм и -0,25+0,1 мм, относится к мелко- и среднезернистым пескам, а исследованные пробы, исходя из величин коэффициента пористости (0,76-1,31) и плотности сложения - к рыхлым, несвязанным, склонным к пылению, грунтам.

По химическому составу хвосты характеризуются меньшим по сравнению с зональными почвами количеством кремнезема и более заметным содержанием других элементов, особенно калия и фосфора (из-за неполностью извлеченного из руды при обогащении апатита) (табл. 1), что свидетельствуют о благоприятных предпосыпках для выращивания растений в целях закрепления их поверхности от развеивания. Однако из-за полного отсутствия в хвостах органического

вещества, которое во многом определяет водные свойства и режим почв, процессы естественного зарастания и развития восстановительной сукцессии на отвалах слабо выражены.

Таблица 1. Химический состав песчаного субстрата отвалов

Проба	Компонент, содержание, %										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	TiO ₂	Na ₂ O
Песок отвалов	41.47	22.52	2.22	5.54	4.34	0.80	10.13	6.46	0.06	0.69	11.40

Определяющим фактором успешности проведения на таких техногрунтах рекультивационных работ является питательный режим их поверхностного слоя, который можно обеспечить с помощью поверхностного и внутргрунтового орошения мелиорантами на основе отходов селитебного комплекса - осветленными коммунальными стоками и осадками сточных вод (табл. 2, 3).

Таблица 2. Количествохимический анализ ОСВ в абсолютно сухом состоянии

Проба	Компонент, содержание, %							Компонент, содержание, мг/кг			
	опр. в-во	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	Pb	Ni	Zn	Cu
ОСВ	62	21,7	6,14	5,83	2,99	0,45	0,279	<30 (15)	<30 (15)	186	<30 (15)

Таблица 3. Состав ОКС

Проба	Компонент, содержание, мг/л							
	взвеш. в-ва	аммоний ион	нитрат ион	хлорид ион	фосфор	железо	ХПК	БПК ₅
ОКС	67,6	25,74	0,140	31,31	1,83	1,29	223,7	117,7

В опыте с имитацией поверхностного орошения техногрунта хвостохранилища с помощью, разбавленных в 50 раз, осветленных коммунальных стоков, методом биотестирования дана оценка их соответствия показателям СанПиН 2.1.7.573-96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения для земледельческих полей орошения (ЗПО)» в части их токсичности при проращивании семян тимофеевки луговой, которая характеризуется средними показателями выноса биогенных элементов (N 13; P₂O₅ 6; K₂O 17 кг/т). Поверхностное орошение нефелинового субстрата стоками способствовало положительное более интенсивному и качественному прорастанию семян, в 5 раз превышающему контроль, росту растений и увеличению проективного покрытия на 18.5%. В отношении накопления надземной биомассы выявлены статистически значимые ($p < 0.2$) различия между вариантами, что, наряду с различиями в обозначенных выше показателях, свидетельствовало о стимулирующем эффекте ОКС на рост и развитие растений на хвостах.

Согласно вышеуказанных нормативов, удобрительная ценность стоков оказалась низкой, не пригодной для удобрительных поливов на ЗПО, но приемлемой

для принятия стимулирующих мер на хвостохранилищах (табл. 4), что также подтверждается сопоставлением отчетных данных местного предприятия ВКХ с составом питательных растворов, рекомендуемых, для гидропонного выращивания растений, а также, обнадеживающими результатами предыдущего эксперимента по биотестированию ОКС на тимофеевке луговой. Показатель pH региональных ОКС соответствует требованиям СанПиН 2.1.7.573 для орошения и кислых, и щелочных почв ЗПО, а содержание суммы легкорастворимых солей позволило классифицировать их как слабоминерализованные. Соотношение одно- и двухвалентных катионов в мелиоранте варьировало в пределах 1.3, что ниже нормативных в 3 раза, поэтому, проблема осолонцевания хвостов под действием стоков признана не актуальной. Следовательно, по химическим показателям ОКС отдельно взятого предприятия ВКХ Мурманской области пригодны для ускорения ренатурационных процессов на хвостохранилищах региона.

Таблица 4. Результаты оценки ОКС АО «Апатитыводоканал» на соответствие показателям СанПиН 2.1.7.573-96

Показатель	ОКС
Удобрительная ценность	N <100 мг/л, P <30 мг/л, K <70 мг/л
pH	7.21-7.85 (n=39)
Содержание суммы легкорастворимых солей в прокаленном сухом остатке	85-204 мг/л (n=39)
Соотношение одно- и двухвалентных катионов Na:(Ca+Mg), мг-экв/л	1.3

В опыте по изучению влияния разных мелиорантов на формирование фитоценоза на хвостах использовали в чистом виде и в комбинации осадок сточных вод и термовермикулите «Випон-2», а также травосмесь, рекомендуемую для рекультивации северных территорий. Применение обоих мелиорантов положительно повлияло на рост (рис. 1) и развитие растений в онтогенезе.

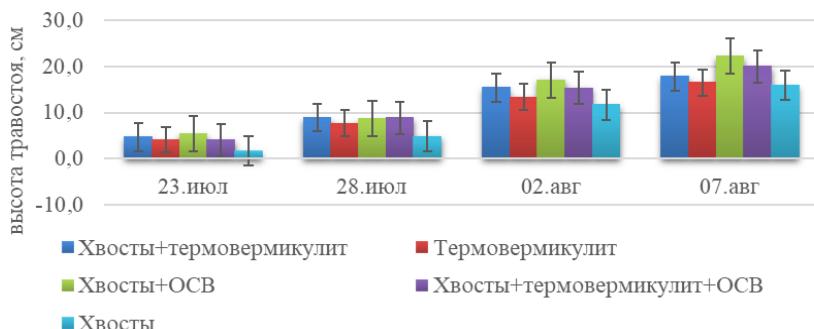


Рисунок 1. Влияние разных субстратов на рост растений в лабораторном эксперименте с применением ОСВ

Однако во всех вариантах с ОСВ из-за его плотного сплошного слоя, сквозь который в краткосрочном эксперименте часть проростков не успела пробиться, проективное покрытие и биомасса растений оказались ниже по сравнению с вермикулитом на 30 и 25%, с контролем – на 10 и 2.7% соответственно. Поскольку применение вермикулита для мелиорации больших площадей отвалов из-за дороговизны не целесообразно, можно использовать осадок сточных, предварительно рассмотрев возможность его фрагментарного нанесения на техногрунт.

Изучение влияния мелиорантов на основе концентрированных осветленных коммунальных стоков, осадка сточных вод и нефильтрованной дождевой воды на формирование растительного покрова из тимофеевки луговой на нефелиновых песках при разных нормах и способах их внесения установлено, что ОКС и ОСВ пригодны для биорекультивации без отсыпки плодородного слоя. Их использование по сравнению с контрольным вариантом оказало положительное влияние на формирование ценозов, которое зависело от способа применения. При многократном орошении субстрата стоками, в отличие от фрагментарного использования ОСВ был получен наиболее качественный противоэрозионный растительный покров (с двукратным превышением сырой биомассы и статистически значимым ростом растений) (рис. 2). Однократный полив ОКС оказал стимулирующее действие на рост растений и более выраженное влияние на расширение площади покрытия, по сравнению с фрагментарным нанесением ОСВ и контролем.

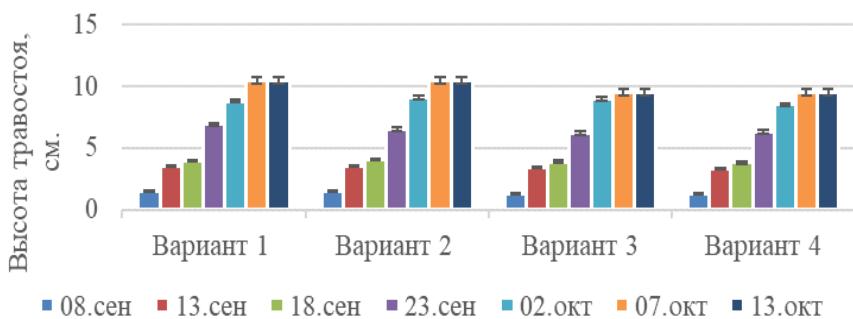


Рисунок 2. Динамика роста растений тимофеевки луговой в эксперименте, где вариант 1 - полив ОКС 1 раз при закладке, далее дождевой водой, 2 - полив ОКС в течение всего опыта, 3 - 8 фрагментов нанесение ОСВ, полив дождевой водой, 4 (контроль) - полив дождевой водой

В многолетних полевых исследованиях по оценке возможности применения осадка сточных вод для ускоренного формирования устойчивого противоэрозионного фитоценоза на техногенном грунте песчаного карьера растительный покров создавался с помощью подзимнего посева разработанной травосмеси из овсяницы красной, волосенца песчаного, пырея ползучего, люпина многолистного, копеечника альпийского и сосны обыкновенной. Изучали 2

способа использования ОСВ: 1(О) - с фрагментарным нанесением мелиоранта и посевом семян под его слой, 2(О) – со сплошным нанесением и посевом семян поверх ОСВ.

Показано, что мелиорант на основе ОСВ может применяться обоими способами, оказывает стимулирующее действие на рост и развитие растений на разных этапах онтогенеза. Уже в первый вегетационный сезон при его участии на опытных площадках были сформированы одноярусные растительные сообщества с высоким проективным покрытием (табл. 5) из хорошо развитых растений овсяницы красной, пырея ползучего и 3 заселившихся аборигенных видов (мать-и-мачехи, иван-чая и щавеля малого).

Таблица 5. Качественные показатели фитоценоза

Показатель	Вариант и способ нанесения ОСВ					
	2018 г.			2019 г.		
	1(О)	2(О)	3(К)	1(О)	2(О)	3 (К)
Количество ярусов, шт.	1	1	1	2	2	1
Высота растений, см	27,4±1,5	35,3±1,2	8,1±0,3	56,9±1,7	69,7±1,9	12,8±0,5
Количество видов из числа высаженных, шт.	2	2	2	4,5	5,6	4,0
Количество вселившихся видов, шт.	3	3	–	3,8	3,8	2,3
Проективное покрытие, %	87	100	15	100	100	20

В дальнейшем наблюдалось ежегодное улучшение качественных и количественных показателей искусственно созданного фитоценоза на опытных делянках (рис. 3).

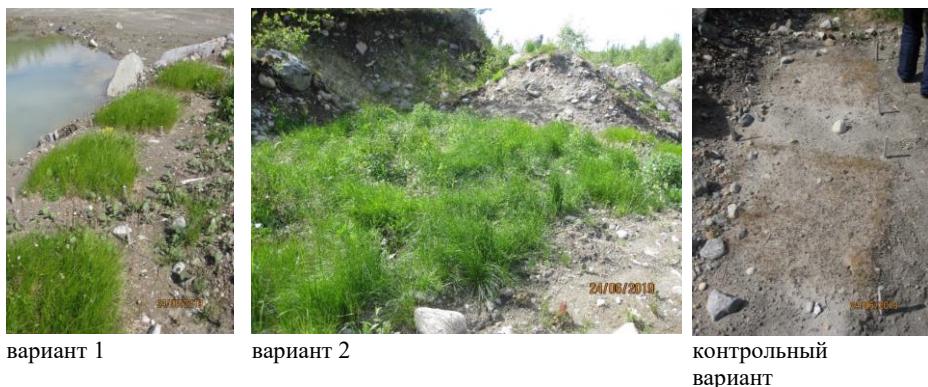


Рисунок 3. Внешний вид опытных и контрольных делянок в 2019 г.

На третий год фрагментарное нанесение ОСВ на поверхность грунта привело к увеличению высоты растений в 6,3, плотности травостоя – в 1,7, биомассы – в 29,3, проективного покрытия – в 10 и мощности дернины в 1,4 раза по сравнению с контролем. При нанесении осадка сплошным слоем эти

показатели еще больше возросли: высота растений – в 6,9, плотность травостоя – в 4,4, биомасса – в 55,9, мощность дернины – в 3,7 раза (табл. 6).

Таблица 6. Влияние способа нанесения осадков сточных вод на качественные показатели фитоценоза

Показатель	Вариант		
	1(О)	2(О)	3 (К)
Количество ярусов, шт.	2	3	1
Среднее количество видов из числа высеванных, шт.	6,0	6,0	4,5
Среднее количество вселившихся видов, шт.	11,7	12,0	3,0
Высота растений, см	86,7±3,3	95,2±1,4	13,7±0,9
Плотность травостоя, стеблей/1 м ²	12830±123,14	32589,7±546,7	7431,7±20,9
Зелёная биомасса, г/м ²	2952±52,5	5632±28,9	100±3,2
Проективное покрытие, %	100	100	10
Мощность дернины (по керну, n=3), см	3,6±0,03	9,6±0,02	2,6±0,2

Независимо от способа нанесения, применение осадка сточных вод способствовало ускорению восстановительной сукцессии на объекте, формированию сложного фитоценоза с дву- и трехъярусным строением, увеличению биоразнообразия на карьере с 6-и посевных до 21 вида растений и быстрому зарастанию внутренних оголенных участков, и, тем самым - закреплению и стабилизации процессов эрозии. Отмеченное при этом возникновение элементов естественных фитоценозов, свойственных зональному типу растительного покрова, позволило характеризовать созданные растительные сообщества как экологически устойчивые, имеющие перспективы к самостоятельному существованию и дальнейшему развитию. В контрольном варианте созданный фитоценоз по-прежнему оставался примитивным, разреженным, одноярусным, включающим только 9 видов растений (табл. 6), не способным противостоять пылению песчаной поверхности карьера.

Таким образом, подтверждается первое научное положение:

Эффективное закрепление пылящих поверхностей хранилищ тонкодисперсных отходов в условиях Кольского Севера достигается в течение уже в первый год вегетации видов-эдификаторов в составе травосмеси путем формирования противоэрозийного растительного покрова с высоким проективным покрытием и мощной травяной дерниной при воздействии разных типов жидких отходов селитебного комплекса.

Химическая мелиорация нефелиновых песков с использованием отходов селитебного комплекса (осветленных коммунальных стоков и осадков сточных вод)

В работе применен метод фитотестирования грунта отходов рудообогащения (хвостов), орошенного нефильтрованной дождевой водой и

указанными мелиорантами, на одновидовом посевном материале из тимофеевки луговой.

Химическая мелиорация техногенного грунта хвостоотвалов с помощью осветленных коммунальных стоков. В ходе химического анализа исходного грунта было определено низкое (9,77 мг/кг), но не нулевое, содержание азота, а по окончании эксперимента в контрольном варианте (без мелиорации ОКС) - высокий азотный пул (остаточный уровень N_{общ} в 11 раз превышал исходное содержание) (табл. 7), что можно объяснить азотфиксацией деятельностью микроорганизмов, присутствующих в грунте изначально и, привнесенных с оросительной водой в составе инокулированных звездочек, и трансформацией различных форм азота в пределах микробиологической пленки, формирующейся на нефелиновом субстрате, функционирующем как медленный песчаный фильтр. Многократное внесение легкодоступного органического вещества с ОКС (вариант 3) могло стимулировать денитрификационную активность микробиоты песков, способствовать удалению части азота из сферы реакции в молекулярной форме (N₂) и привести к снижению остаточного содержания N_{общ} в техногрунте при самом значительном поступлении в него соединений этого элемента (табл. 7).

Таблица 7. Среднее остаточное содержание азота, калия и фосфора в техногрунте по окончании эксперимента (n=5)

Показатель	N _{общ} , мг/кг			Доступный P, мг/кг			Доступный K, мг/кг		
	1(K)	2(O)	3(O)	1(K)	2(O)	3(O)	1(K)	2(O)	3(O)
Среднее содержание	108,1	101,5	99,3	51,6	42,2	45,2	2130,2	2151,0	2417,6
% от валового содержания	-	-	-	0,98	0,80	0,86	5,13	5,18	5,83

1(K) – контроль, орошение только дождевой водой; 2(O) – однократное орошение ОКС в начале опыта, затем – только дождевой водой; 3(O) – орошение только ОКС в течение всего эксперимента

Большое исходное валовое содержание калия и фосфора в хвостах и низкомолекулярных органических кислот в стоках обеспечили сохранение высокого уровня доступности калия и фосфора для растений на протяжении всего опыта (табл. 8), что подтверждается сопоставлением остаточного содержания доступных форм этих элементов с их содержанием в лимоннокислой вытяжке исходного грунта, имитирующей экстрагирующую способность корневых выделений травянистых растений, и позволяет говорить о пролонгированном эффекте орошения на калий-fosфорный режим хвостов.

Таблица 8 Доступность калия и фосфора в лимоннокислой вытяжке исходного грунта

Параметры	Валовое содержание, мг/кг	0,01 M раствор лимонной кислоты	
		мг/кг	% извлечения
K	41500	1020	2,26
P	5276	45,7	0,49

Во всех вариантах опыта отмечено активное накопление азота, калия и фосфора в наземной части растений (табл. 9). При этом коэффициент их биологического поглощения возрастал с увеличением количества внесенных ОКС, но линейной зависимости не наблюдалось. Такой быстрый отклик растений на оросительные поливы даже в условиях контрольного опыта нельзя объяснить возможным усилением микробиологической активности при благоприятных условиях проведения эксперимента. Важным фактором роста доступности К и Р может являться относительно высокая кислотность атмосферных выпадений в виде дождя, что является характерной особенностью даже условно-фоновых территорий Арктической зоны.

Таблица 9. Среднее валовое содержание азота (N), фосфора (P), калия (K) в наземной части тимофеевки луговой

Показатель	Nобщ, мг/кг			Робщ, мг/кг			Kобщ, мг/кг		
	1(K)	2(O)	3(O)	1(K)	2(O)	3(O)	1(K)	2(O)	3(O)
Среднее	23094	27980	30875	4048	4253	4774	26953	28488	32061
КПБ*	-	-	-	0,77	0,81	0,90	0,65	0,69	0,77

*Примечание. Коэффициент биологического поглощения (КПБ) - отношение содержания элемента в надземной части растений к его валовому содержанию в исходном грунте; для азота данный параметр не определяется

Многократное орошение грунта дождевой водой обеспечило накопление Р в надземной фитомассе свыше 4000 мг/кг, превышающее его содержание в тимофеевке луговой, выращенной на нефелиновых песках АНОФ-1 (2400 мг/кг в контроле, 2500 мг/кг при торфовании), а также предел 3300 мг/кг, достигнутый на окультуренных подзолистых почвах региона. Содержание фосфора в растениях во всех вариантах опыта соответствовало оптимальным значениям для злаковых растений.

Накопление общего азота в растениях в контроле совпадало с результатами полевых экспериментов на хвостохранилище АНОФ-1 без принятия каких-либо мелиоративных мер. При однократном орошении нефелиновых песков ОКС оно достигало уровня, отмеченного для тимофеевки луговой в международной практике повышения питательной ценности кормов за счет применения высоких доз минеральных удобрений, а в варианте с многократным (суммарно 380 т/га) - соизмеримые при внесении 100 т/га навоза как традиционного мелиоранта.

Таким образом, была показана принципиальная возможность формирования фитоценоза на хвостохранилище апатитонефелинового производства без землевания с применением нетрадиционного мелиоранта на основе осветленных коммунальных стоков.

Химическая мелиорации техногрунта с использованием осадков сточных вод. ОСВ, однократно примененный в эксперименте, и после изъятия растительной биомассы способствовал сохранению остаточного содержания азота в техногенном грунте, в 12,7 раз превышающего исходное (9,7 мг/кг) (табл. 10), что может быть объяснено внесением легкодоступного органического вещества и связанных с ним аммонийных форм азота. В контроле также отмечено высокое

остаточное содержание азота, в 11 раз превышающее исходное, обусловленное азотфиксацией деятельностью микроорганизмов.

Высокое валовое содержание в исходном грунте фосфора и калия обеспечило высокий уровень их доступности для питания растений в эксперименте (табл. 10). Последствием многократного поверхностного орошения стоками явился интенсивный рост растений, выраженное стимулирующее действие на расширение площади растительного покрова и двукратное превышение зеленой биомассы относительно контрольного варианта (с орошением грунта дождевой водой в тех же нормах).

С внесением осадка сточных вод, содержащего К и N в доступной для растений форме, возрастало и остаточное их содержание в грунте. Максимум остаточного содержания доступных форм Р был отмечен в контроле, что может быть связано с более интенсивным выносом Р с биомассой в опытном варианте, его ассимиляцией микробиотой, формированием труднорастворимых фосфатов Ca, Fe, Al за счет вытеснения указанных элементов из тонкодисперсной фракции песков, а также образованием ассоциатов фосфат-ионов с гумифицированным органическим веществом осадка.

Таблица 10. Среднее остаточное содержание азота, фосфора и калия в техногрунте по окончании эксперимента

Вариант	Содержание биогенных элементов, мг/кг		
	N _{общий}	P _{доступный}	K _{доступный}
ОСВ+дождевая вода	122,8	45,4	2266,9
Контроль (без ОСВ, дождевая вода)	108,1	51,6	2130,2

Однократное фрагментарное нанесение ОСВ оказало положительное влияние на рост растений и стимулировало статистически значимый прирост зеленой биомассы по сравнению с контролем.

Результаты листовой диагностики выявили активное накопление азота, фосфора, калия в наземной части растений в обоих вариантах (табл. 11).

Таблица 11. Средние значения валового содержания азота, фосфора, калия в наземной части тимофеевки луговой

Вариант	Содержание питательных элементов, мг/кг		
	N _{общий}	P _{общий}	K _{общий}
ОСВ+дождевая вода	29647	3773	25599
Контроль	23094	4048	26953

Такую реакцию растений даже в условиях контрольного варианта можно объяснить возможным усилением микробиологической активности при благоприятных условиях проведения эксперимента и поступлением важных элементов питания с дождевой водой. Уровень накопления калия и фосфора в растениях обоих вариантов соответствовал вариантам исследований, проведенных в регионе с торфованием и применением комплексных

минеральных удобрений на грунтах близкого минерального состава (хвостах АНОФ-1) и по выращиванию злаков на окультуренных подзолистых почвах, азота - уровню, отмеченному для данной культуры в международной практике повышения питательной ценности кормов за счет применения высоких доз минеральных и органических удобрений.

В результате исследований были подтверждены стимулирующий эффект осадков сточных вод на питательный режим нефелиновых песков и возможность создания устойчивого растительного покрова из тимофеевки луговой при их рекультивации. После фитоэкстракции в техногрунте сохраняется высокий остаточный пул основных питательных элементов (N, P, K), свидетельствующий о пролонгированном действии ОСВ.

Таким образом подтверждается второе и третье научное положение.

Второе научное положение:

Механизм ревитализации ландшафтов техногенных новообразований из отходов обогащения заключается в снижении подвижности тонкодисперсных фракций в их приповерхностной зоне за счёт ускоренного развития восстановительной сукцессии в направлении воспроизведения там экологически устойчивых, самостоятельно существующих и развивающихся, растительных сообществ.

Третье научное положение:

Отходы селитебного комплекса (осветленные коммунальные стоки и осадки сточных вод) характеризующиеся высоким содержанием легкодоступного для микробиоты органического вещества, а также лабильностью питательных элементов, способствующие повышению доступности калия и фосфора за счет их мобилизации из апатито-нефелиновых песков, дальнейшей ассимиляции растениями азота, фосфора и калия, являются эффективными почвоулучшителями стимулирующего и пролонгирующего действия, повышающими биогенность малопродуктивных техногенных грунтов, способными создавать на них в зоне рискованного земледелия благоприятные для выращивания растений эдафические условия.

Обоснование технологии экологической стабилизации пылящих поверхностей хранилищ горнопромышленных отходов на Кольском Севере

Степень влияния ОСВ на состояние и продуктивность, созданных в песчаном карьере, многолетних противоэрзийных фитоценозов, оценивали по эффективности работы фотосинтетического аппарата (ФА) доминирующего многолетнего злака - овсяницы красной. Наибольшие абсолютные показатели надземной фитомассы и содержания хлорофиллов были отмечены для растений в опытном варианте со сплошным нанесением ОСВ. Однако, расчетные показатели эффективности работы ФА показали, что продуктивность работы единицы хлорофилла выше в варианте с фрагментарным нанесением. Максимальные значения показателей работы ФА овсяницы в обоих опытных вариантах отмечены в первой половине вегетации; а в конце сезона, из-за сильной загущенности покрова и изменения светового режима, выявлено резкое снижение

интенсивности работы ассимилирующих органов, что подтверждает наибольшую перспективность использования фрагментарного внесения ОСВ при проведении восстановительных мероприятий.

Полученные данные были использованы при разработке практических рекомендаций по использованию осадка сточных вод для экологически эффективной ревитализации, нарушенных горными работами, ландшафтов в арктических условиях без отсыпки плодородного слоя, включающие следующие основные положения: 1) мелиорант ОСВ наносится механизированным способом на поверхность песчаного техногрунта сплошным слоем или фрагментарно без перемешивания с ним; 2) выбор травосмеси осуществляется в соответствии с особенностями рекультивируемого объекта, решаемыми задачами и личным предпочтением; 3) посев семян растений-рекультивантов производиться классическим способом прямого посева по поверхности грунта (под слой ОСВ), либо поверх ОСВ; 4) используются общепринятые для северных территорий нормы высева семян.

На рисунке 4 представлена технологическая схема, согласно которой в 2022 г. было произведено успешное апробирование рекомендуемого способа на откосах ограждающей дамбы хвостохранилища АНОФ-2.



Рисунок 4. Технологическая схема экологической стабилизации пылящих поверхностей горнoprомышленных отходов (на примере хвостохранилища АНОФ-2 КФ АО «Апатит»)

Сравнительный анализ данных по расчёту стоимости выполнения разных этапов создания посевного фитоценоза на песчаных техногрунтах разными методами показал, что предлагаемый способ на основе применения нетрадиционных мелиорантов местного предприятия ВКХ АО «Апатитыводоканал» экономически более эффективен по сравнению с традиционным, предусматривающим землевание и внесение минеральных удобрений: при использовании ОКС в 4.4 раза, ОСВ – 5.7 раза, так как он не требует существенных капитальных вложений. Его достоинствами являются низкие эксплуатационные расходы и затраты на проведение работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основании выполненных автором теоретических обобщений, комплекса лабораторных, натурных и аналитических исследований получено новое решение актуальной научной проблемы предотвращения пылеобразования с песчаных поверхностей техногенных массивов отходов обогащения апатит-нефелиновых руд и карьерных выработок.

Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены экологически эффективные возможность и способы биорекультивации техногенных пылящих поверхностей с использованием отходов селитебного комплекса техногенных почвообразований в европейской части Арктической зоны РФ за счет целенаправленного формирования эдафических свойств техногрунтов, соответствующих структуре видового состава противоэрозийных травяных фитоценозов.

Показана принципиальная возможность ускоренного формирования искусственного посевного фитоценоза на техногенных грунтах хвостохранилища апатитонефелинового производства и песчаного карьера в условиях Арктической зоны РФ с использованием в качестве мелиорантов на основе осветленных коммунальных стоков и осадка сточных вод регионального предприятия АО «Апатитыводоканал» без проведения торфо- и землевания, нанесения защитных полимерных реагентов и применения минеральных удобрений.

Установлено, что осветленные коммунальные стоки местного предприятия по химическим показателям (рН, содержанию суммы легкорастворимых солей в прокаленном и сухом остатке стоков, величине отношения одно- и двухвалентных катионов для ОКС) классифицируются как слабоминерализованные и, соответствующие требованиям СанПиН. Под их действием проблема осолонцевания грунта хвостохранилищ не актуальна, однако они положительно влияют на прорастание семян, рост и развитие растений в создаваемом фитоценозе, что свидетельствует о, стимулирующем процессе самозарастания песчаных поверхностей нарушенных ландшафтов.

Осадки сточных вод региональных водоканализационных хозяйств по содержанию в них основных биогенных элементов (азота, фосфора, калия) также пригодны для стимулирования самозарастания хвостохранилища даже при его однократном и фрагментарном поверхностном нанесении на техногенный грунт.

Подтверждена пролонгированность действия химической мелиорации нефелиновых песков с применением осветленных коммунальных стоков и осадка сточных вод для повышения биогенности (содержания NPK-статуса) техногрунта хвостохранилища АНОФ-2 при создании растительного покрова как способа его консервации.

Использование обоих видов предлагаемых мелиорантов способствует интенсивному росту растений и улучшению качества посевых фитоценозов, но зависит от количества и способа их применения.

Орошение нефелиновых песков осветленными коммунальными стоками при соблюдении условий многократного равномерного распределения поливочной воды в количестве 380 т/га по площади имеет пролонгированный эффект на питательный режим грунта и достаточно для создания устойчивого

растительного покрова на отходах рудообогащения без землевания. Однако по причине промывного водного режима песчаных нефелиновых песков эффект от применения осветленных коммунальных стоков, полученный в лабораторных условиях, требует верификации в условиях полевого эксперимента для признания предлагаемого метода альтернативой традиционным биорекультивационным мероприятиям малоплодородных техногрунтов.

Мелиорант на основе осадка сточных вод можно использовать как перед посевом семян нанесением фрагментарно (вrossсыпь) на поверхность техногенного грунта, так и поверх произведенных посевов.

Способ сплошного нанесения на техногенный грунт осадка сточных вод, в отличие от одноразового фрагментарного его применения, способствует формированию более качественного противоэрозионного фитоценоза. Однако предпочтительнее его фрагментарное нанесение, для которого характерны наиболее оптимальные показатели работы фотосинтетического аппарата растений-рекультивантов, более низкая себестоимость метода.

Предлагаемый в работе способ создания посевного фитоценоза на техногенно нарушенных территориях с применением местных мелиорантов на основе осветленных коммунальных стоков и осадков сточных вод экономически более эффективен по сравнению с традиционным, предусматривающим проведение землевания и применение минеральных удобрений.

Предложенная технологическая схема, основанная на использовании широкодоступных и дешевых, являющихся к тому же, дополнительными источниками питательных веществ, влагоемких мелиорантов в виде отходов селитебного комплекса, решает проблему низкой продуктивности песчаных техногрунтов и пылеподавления. Предлагаемые в работе меры будут способствовать росту прибыли предприятий водоканализационных хозяйств за счет снижения штрафных санкций за сверхнормативный сброс отходов и возможности совершенствования технологических процессов, позволят вовлечь в хозяйственный оборот большой объем, требующих утилизации, отходов и, тем самым, добиться существенного снижения их негативного воздействия на окружающую среду.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что сформированный при проведении исследований в условиях Кольского Севера общеметодологический подход к выбору оптимального уровня мелиорирующего и удоборительного эффекта комплексных смесей жидких бытовых отходов, исходя из экологически обусловленных темпов изменений биологической продуктивности и проективного покрытия травяных противоэрозионных фитоценозов, может быть использован при создании подобных технологий экологической стабилизации пылящих техногенных поверхностей в любых других климатических зонах.

Значение полученных результатов исследования для практики заключается в том, что на их основании в природоохранных целях предложен новый, экономически более эффективный и экологически безопасный, по сравнению с традиционным, способ создания высококачественных противоэрозионных фитоценозов.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

монографические работы:

Пора восстанавливать Арктику. Использование отходов производства и потребления региональных водопроводно-канализационных хозяйств для реабилитации нарушенных ландшафтов / Л. А. Иванова, А. В. Лусис, Т. Т. Горбачева, Е. А. Красавцева; отв. ред. докт. биол. наук Л. П. Капелькина, канд. биол. наук Е. А. Боровичев. — Апатиты: Издательство ФИЦ КНЦ РАН, 2023. — 77 с.: ил. ISBN 978-5-91137-494-5. DOI:10.37614/978.5.91137.494.5.

научные статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и рецензируемых изданиях (Scopus):

Иванова Л.А., Горбачева Т.Т., Макаров Д.В., Румянцева А.В., Лусис А.В., Конина О.Т. Применение ковровой дернины при биологической рекультивации хвостохранилищ в условиях Крайнего Севера//Гидротехническое строительство. №7. 2019. С. 89-94. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2021-24-1-88-96>.

Т.Т. Горбачева, А.В. Лусис, Л.А. Иванова Химическая мелиорация нефелиновых песков с применением осадка сточных вод регионального предприятия водопроводно-канализационного хозяйства // Вестник МГТУ, 2021, Т. 24, № 1. С. 88–96. ISSN: 1560-9278. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2021-24-1-88-96>.

А. В. Лусис, Т. Т. Горбачева, Л. А. Иванова Оптимизация арктических техногенных ландшафтов нетрадиционным методом биологической рекультивации // Маркшейдерия и недропользование. – 2023. – № 2(124). – С. 88-96. ISSN: 2079-3332. DOI 10.56195/20793332_2023_2_88_96.

Lusis A. V., Ivanova L. A., Gorbachyova T. T., Rumyantseva A. V. Establishment of an erosion-control plant cover in a sand pit under Arctic conditions using sewage sludge. Mining Science and Technology (Russia). ISSN: 2500-0632. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-01-73>.

Шмакова Н.Ю., Иванова Л.А., Ермолаева О.В., Лусис А.В. Фотосинтетическая продуктивность искусственно созданных фитоценозов с применением осадка сточных вод // Маркшейдерия и недропользование. №3(125), 2023. С. 60-68. ISSN: 2079-3332. DOI: 10.56195/20793332_2023_3_60_68.

материалы международных, всероссийских и региональных конференций:

Лусис А.В., Горбачева Т.Т., Иванова Л.А., Макаров Д.В. Осветленные коммунальные стоки как нетрадиционный мелиорант (лабораторные опыты по биотестируанию 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.

Горбачева Т.Т., Иванова Л.А., Макаров Д.В., Лусис А.В. Оценка пригодности осветленных коммунальных стоков 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.

А.В. Лусис, Т.Т. Горбачева, Л.А. Иванова Применение осветленных коммунальных стоков и осадка сточных вод в качестве мелиорантов для рекультивации отвалов отходов рудообогащения (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.

Лусис А.В., Горбачева Т.Т., Иванова Л.А. Реабилитация техногенно нарушенных ландшафтов с применением нетрадиционных мелиорантов в Арктической зоне РФ // Сборник статей 5 конференции Международной научной школы академика РАН К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр». Под редакцией академика РАН К.Н. Трубецкого. 14-18 ноября 2022 г. Москва — М.: ИПКОН РАН. — 2022. – С. 365-369.

Лусис А.В., Иванова Л.А. Ревитализация нарушенных горными работами ландшафтов с применением мелиорантов на основе отходов селитебного комплекса в Арктической зоне РФ // Материалы Международной конференции «Современные проблемы комплексной и глубокой переработки природного и нетрадиционного минерального сырья» («Плаксинские чтения – 2023»). – М.: Издательство «Спутник +», 2023. –С. 525-527 с. ISBN 978-5-9973-6703-9. DOI: 10.25633/6703-9.

Стефунько М.С., Лусис А.В., Л.А. Иванова. Экологическая стабилизация нарушенных горными работами ландшафтов с применением мелиорантов на основе отходов селитебного комплекса в Арктической зоне РФ // Материалы 16 Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в ХХI веке глазами молодых». 23-27 октября 2023 г. — М.: ИПКОН РАН. — 2023. – С. 25-27.