

НИКИФОРОВ АЛЕКСЕЙ АФАНАСЬЕВИЧ

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ
ОТВАЛОВ КАРЬЕРА «АЙХАЛ»
(ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ)**

03.02.08 – экология
(биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Якутск 2018

Работа выполнена в лаборатории промышленной ботаники и экологического картографирования научно-исследовательского Института прикладной экологии Севера ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»

Научный руководитель

Миронова Светлана Ивановна, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник НИИПЭС ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», г. Якутск

Официальные оппоненты

Капелькина Людмила Павловна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности

Тихменев Евгений Александрович, кандидат биологических наук, профессор Северо-Восточного государственного университета, г. Магадан

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск

Защита состоится «30» мая 2018 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.306.03 при ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» по адресу: 677000, г. Якутск, ул. Белинского 58, e-mail: dsövet_nefu@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО СВФУ им. М.К. Аммосова: www.s-vfu.ru

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, к.б.н



Легостаева Яна Борисовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Западная Якутия – крупнейший центр алмазодобывающей промышленности мирового уровня. Открытая добыча алмазов приводит к нарушению состояния окружающей естественной экосистемы и ее трансформации. В этой связи актуально не только изучение нарушенных земель, но и решение вопросов по их рекультивации.

На нарушенных техникой землях создаются техногенные ландшафты с низкой биологической продуктивностью и специфическими биофизическими и биохимическими свойствами, образуя своеобразные «провалы» и «барьеры» на путях общепланетарной миграции веществ и энергии. Они искажают «нормальный» ход фундаментальных процессов, протекающих в биосфере. Характерной чертой техногенных ландшафтов является нарушение целостности «пленки жизни» в биосфере, вплоть до полного уничтожения почвенного и растительного покровов в результате деятельности человека, которое уже давно стало сравнимой по значимости с геологическими процессами (Вернадский, 1965).

Наиболее распространенными типами техногенных ландшафтов являются карьеры, хвостохранилища и отвалы пустых пород. Это основные объекты рекультивации.

В условиях Крайнего Севера именно биологический этап рекультивации как комплекс восстановительных мероприятий нарушенной биоты остается актуальным, имеет свои особенности (сложность приживаемости семян, отсутствие плодородного слоя, выживаемость семян после длительных заморозков и т.д.) и обусловлен высокой степенью фрагильности экосистем и сложностью подбора видов-рекультивантов.

Объектом наших исследований выбраны отвалы пустых пород карьера «Айхал» Айхальского горно-обогатительного комбината (АГОК) на территории Мирнинского района на севере Республики Саха (Якутия).

Цель исследований – изучение степени техногенной нарушенности земель в зоне влияния карьера «Айхал» и определение рекультивационного потенциала территории.

Для достижения **цели** перед нами поставлены **следующие задачи**:

- определить степень техногенной нарушенности ландшафтов Айхальского ГОКа;
- изучить почвогрунты и растительность отвалов карьера «Айхал» и в зоне влияния Айхальского ГОКа;
- определить рекультивационный потенциал нарушенных земель;
- определить наиболее эффективные способы биологической рекультивации отвалов карьера без отсыпки плодородного слоя.

Научная новизна исследований. Автором впервые составлены морфометрические характеристики (поверхность и откос отвалов) техногенных ландшафтов, изучены грунты и растительность отвалов карьера «Айхал». А также впервые определен рекультивационный потенциал территории исследования.

В суровых условиях северного региона впервые проведено исследование и научно обоснована эффективность двух способов биологической рекультивации с использованием нетрадиционных материалов: применение старики (ветошь) и отходов канализационно-очистных сооружений. Способ применения старики (ветоши) и канализационно-очистных сооружений впервые использован на территории Айхальского ГОКа и в республике.

Положения, выдвигаемые на защиту:

1) Выявленная пространственная структура нарушенных земель, грунтов, растительности карьера «Айхал» позволяет оценить территорию как комплекс участков со средним и низким рекультивационным потенциалом.

2) Создание экологически эффективных методов биологической рекультивации отвалов пустых пород карьера в условиях отсутствия грунтов для отсыпки поверхности возможно только с применением нетрадиционных материалов. Наиболее эффективными методами биологической рекультивации явились способы применения стáрики (ветоши) и отходов канализационно-очистных сооружений (КОС).

Фактический материал и личный вклад автора. В диссертации представлены материалы, собранные непосредственно автором, в том числе полевые и камеральные работы, составление таблиц, графиков, анализ всех данных, литературный обзор, обобщение материала, статистическая обработка и расчеты.

Практическая значимость и применение результатов работы. Результаты исследования применяются при проведении биологической рекультивации отвалов алмазодобывающих предприятий Якутии. Работа позволит реализовать и получить инновационные, более эффективные и экономически выгодные методы биологической рекультивации в условиях отсутствия на территории плодородных пород для отсыпки нарушенной поверхности. Айхальским ГОКом и НИИПЭС СВФУ составлен акт внедрения результатов НИР с участием автора на тему «Создание комплексной инновационной экологически безопасной технологии добычи и переработки алмазоносных руд в условиях Крайнего Севера», тема 4 «Создание комплексной экологически безопасной инновационной технологии добычи и переработки алмазосодержащих руд в условиях Крайнего Севера», раздел 4.1. «Разработка и внедрение эффективного способа биологической рекультивации земель, нарушенных при добыче алмазов в условиях Крайнего Севера» (2010-2012 гг.). По результатам совместных исследований с сотрудниками НИИПЭС СВФУ получен патент на изобретение (Патент № 2497608 от 10.11.2013 г. «Способ биологической рекультивации нарушенных земель Крайнего Севера»), на базе имеющихся данных составлены научно-практические рекомендации.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 статей и тезисов, в том числе 4 в научных журналах, включенных в перечень ВАК Российской Федерации, получен 1 патент РФ.

Апробация. Основные результаты исследований были представлены на научно-практических конференциях: II республиканской научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов, посвященной Международному дню Земли «Отходы в Доходы» (Якутск, 2011-20112); Всероссийской научно-практической конференции «Природопользование на Севере. Проблемы экологической и социальной безопасности» (Якутск, 2012); научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «XVI Лаврентьевские чтения РС (Я)» (Якутск, 2012); II Всероссийской научно-практической конференции «География, экология, туризм: научный поиск студентов и аспирантов» (Тверь, 2014); IV Международной научной конференции на тему: «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства» (Краснодар, 2017).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов, списка литературы. Общий объем диссертации 154 страницы, содержит 34 рисунка, 13 таблиц. Список литературы насчитывает 254 наименования, в том числе 26 на иностранных языках.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

На основании литературных данных приводятся основные характеристики рельефа, климата, гидрографии, многолетнемерзлых пород, почвенно-растительного покрова района исследования. Дается описание основных факторов воздействия алмазодобычи и ее технологии на природную среду.

Дается литературный обзор по тематике диссертационной работы. Техногенные земли алмазных месторождений до 1980-х годов были недоступны для ученых, и первые данные получены по результатам комплексных экологических исследований (Экология реки Вилюй, 1993, 1996; Миронова, 2000, 2016; Саввинов, 2007 и другие). Техногенные рельеф и грунты, самозаращение отвалов пустых пород как объектов рекультивационного потенциала нарушенных земель изучаются сотрудниками Института прикладной экологии Севера с начала 2000-го года, в том числе с участием автора с 2010 года.

Вопросы рекультивации давно решаются за рубежом (Oxenham, 1969; Hall, 1957; Lemeshev, 1981; Matsuzaki, 1985) и России (СССР), а в Якутии остаются до настоящего времени на начальном этапе развития. Литературный анализ показал, что литературы по рекультивации достаточно, но работ общетеоретического плана сравнительно мало, особенно биологической, в частности для условий Крайнего Севера пока еще не существует.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые и камеральные работы проводились в 2010-2017 годах. Исследования также проведены в рамках НИР по договору между СВФУ и АК «АЛРОСА» по теме «Разработка и внедрение эффективного способа биологической рекультивации земель, нарушенных при добыче алмазов в условиях Крайнего Севера» (2010-2012 гг).

Для решения вопросов рекультивации и выбора подходящих методов и способов биологической рекультивации нами изучен рекультивационный потенциал нарушенных участков. Термин «потенциал» от латинского *potentia* сила — это источники, возможности, средства, запасы, которые могут быть использованы для решения какой-либо задачи и достижения определенной цели. Вслед за Н. Ф. Реймерсом (1982, 1990), который дает несколько определений природно-ресурсного потенциала, мы под рекультивационным потенциалом понимаем возможности, которые могут быть использованы для рекультивации нарушенных земель. Исследования показали, что почвогрунты отвалов мало пригодны для проведения рекультивации как по физическим свойствам, так и по химическому составу (ГОСТ 17.5.1.03–86). Растительность на отвалах находится на начальной стадии сукцессии. В качестве основных показателей рекультивационного потенциала взяли техногенный рельеф, почвогрунты и растительность.

Изучение ландшафтов района исследования проводилось экспедиционным (маршрутным) способом и методом картографирования для нанесения границ ландшафтов. На их основе были подготовлены картосхемы. В основе изучения и анализа ландшафтов автор руководствовался литературными источниками (Федоров, 1991; Иванов, 2007; Аржакова, Пестерев, Лыткин и др., 2012 и другие). Почвогрунты и грунты изучены сотрудниками НИИПЭС СВФУ при участии автора в соответствии с существующими ГОСТами (ГОСТ 28168-89, ГОСТ 17.4.4.02-84, ГОСТ 17.4.3.01-83 (СТ СЭВ 3847-82) и др.) и общепринятыми методами, применяемыми в почвоведении (Агрохимические..., 1975, Еловская, 1987, Вадюнина, Корчагина, 1986 и др.). Отбор образцов грунтов и почвогрунтов проводился с учетом геоморфологических особенностей исследуемой территории (рис.1).



Рис.1. Расположение точек отбора почвогрунтов и грунтов отвалов карьера «Айхал» (Данилов, Петров, 2012)

Растительность на территории карьера изучена общепринятыми ботаническими и геоботаническими методами (Растительность бассейна реки Вилюя, 1962; Полевая геоботаника, 1964; Александрова, 1969; Программа и методика ..., 1974; Миркин, Розенберг, 1983, Миркин, 1985; Миронова, 2000; Гоголева, 2003, и другие) и с учетом предыдущих исследований. Геоботанические описания на естественных и нарушенных участках проводились автором на мониторинговых точках размером 10x10 м, которые закладывались на участках с относительно однородным растительным покровом.

Точки описаний растительного покрова на нарушенных и на естественных землях прикреплялись метками на GPS-навигатор. В последующем определялось положение рельефа (на ровном месте, на склоне отвала или оврага, на расстоянии от ближайшей дороги, на краю обрыва, на берегу реки) и описывались характерные черты окружающей место работ местности (площадки). Описываемая площадка для естественных земель имела размер 20x20 м, а на нарушенных землях – размер площадки составлял 10x10 м. В процессе описания отмечались положение участка, микрорельеф поверхности, характер увлажнения, общее проективное покрытие (в процентах). При проективном покрытии вида менее 1% использовались модифицированные оценки шкалы обилия Браун-Бланке. Ширина и площадь относительно небольших отвалов определены при помощи измерительной ленты по формуле: $S = \frac{Wn \cdot Kp}{h} \text{ (м}^2\text{)}$, где Wn – объем размещаемых вскрышных пород (м^3), Kp – коэффициент разрыхления пород в отвале, h – высота

отвального уступа. Для более крупных объектов параметры были вычислены в результате анализа топографических карт местности и рекогносцировочных исследований (впоследствии точно установлены в камеральных условиях). Картографические материалы составлены автором с применением программ Google Earth Pro, а также стандартных графических приложений: Paint, PowerPoint, CoralDraw X7. Картограммы района исследования составлены с применением атласов Якутии (Атлас сельского..., 1989; Атлас Якутской..., 1981).

ГЛАВА 3. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ОТВАЛОВ КАРЬЕРА «АЙХАЛ»

При открытой добыче алмазов, как правило, разрушается до 60-95% площади земельного отвода месторождения. На территории карьера «Айхал» рекультивации подлежат все техногенные формы рельефа – карьер, отвалы пустых пород, хвостохранилища и промышленные площадки. Образование и функционирование техногенных ландшафтов зависят как от природных, так и технологических ландшафтообразующих факторов. Технологические факторы подавляют природные, и когда прекращается работа техники, начинается самозарастание нарушенной поверхности, скорость которого находится в прямой зависимости от природно-климатических факторов и способа разработки месторождения. Экологическую основу биологической рекультивации составляют ландшафты, почвы и почвогрунты, а также процесс зарастания растительностью техногенных ландшафтов.

3.1. Характеристика естественных и техногенных ландшафтов

Площади нарушенных земель АК «АЛРОСА» (ПАО) в республике занимают более 10 тыс. га, из них 96% на территории Мирнинского района, в том числе отработанные земли – более 400 га (Госдоклад..., 2015). Основная доля нарушенных земель приходится на хвостохранилища – 36,9%, отвалы пустых пород занимают 19,7%, гидротехнические и другие сооружения – 15,9%, участки отработки россыпных месторождений – 14,1%.

Естественные и техногенные формы рельефа на территории карьера Айхал представлены в таблице 1.

Поверхность отвалов карьера «Айхал» неровная, твердая, что негативно влияет на рост и развитие растений. Самыми крупными по занимаемой площади являются отвалы пустых пород карьера «Айхал» – 1,71 кв. км (рис. 2).

Таблица 1.

Естественные и техногенные ландшафты на территории карьера «Айхал»

Естественные типы ландшафтов (по А.Н. Федорову, 1991)	Типы техногенного рельефа
Северо-таежный водораздельный (редкостойные леса)	Карьер «Айхал» (S - 0,515 км ²), глубина 500 м, ширина 580 м и длина 970 м; Отвалы пустых пород (S – 1,71 км ²), высота 50-100 м, откос до 60 градусов; Нарушенные земли в результате разведки месторождений (S – 0,2 км ²); Территории линий электропередач – ЛЭП и дороги.

Интразональный долинный северо-таежный	Хвостохранилище обогатительных фабрик (S-2,7 км ²).
--	---

Внешние и внутренние отвалы пустых пород вокруг карьера отличаются своими размерами, возрастом, высотой и углом откоса.



Рис. 2. Отвалы карьера «Айхал»



Рис. 3. Хвостохранилище Айхальского ГОКа (карта GoogleMaps www.google.maps.ru)

3.2. Характеристика естественных почв и техногенных почвогрунтов

По почвенно-географическому районированию данная территория входит в Западно-Виллюйский район Якутской Восточно-Сибирской таежно-мелкодолинной провинции (Еловская, 1978). Почвенные исследования проводились сотрудниками НИИПЭС СВФУ при участии автора (Данилов и др., 2012).

Отвалы карьера «Айхал» расположены вокруг самого карьера, создавая целый комплекс техногенных седловинно-отвальных форм рельефа. Образовавшееся на поверхности отвалов в результате выветривания незначительное количество мелкозема имеет легко суглинистый гранулометрический состав. Химическая характеристика грунтов и почвогрунтов исследуемых отвалов на реакцию среды в большинстве случаев слабо- и сильнощелочная. Грунты отвалов бедны биогенными элементами и отличаются по солевому составу. Полуколичественный химический анализ грунтов выявил незначительные превышения установленных норм ПДК и коэффициента фитотоксичности (бор, медь и ванадий) (Данилов и др., 2012). По данным исследований сотрудников НИИПЭС почвогрунты отвалов относятся к малопригодной группе для рекультивации в сельскохозяйственном направлении (ГОСТ 17.5.1.03–86).

3.3. Степень зарастания отвалов растительностью

По геоботаническому районированию территория относится к Оленекскому округу Северо-Западной северотаежной подпровинции подзоны северо-таежных лиственничных лесов (Андреев и др., 1987). На территории Айхальского лесничества широкое распространение получили редкостойные, голубичные, лишайниково-моховые и мохово-лишайниковые лиственничные леса, встречающиеся на повышениях водоразделов и надпойменных террасах. Леса отличаются низкими классами бонитета (Va–Vб), хорошо развитым под пологие леса мохово-лишайниковым покровом. Древостои с сомкнутостью 0,1-0,2, деревья с узкими кронами, чахлые, много сухостоя. Средняя высота деревьев –

10-12 м, средний диаметр – 25-30 см, лесовозобновление слабая. Нами проведены исследования растительности естественных и нарушенных участков. На четырех контрольных площадках размерами 10x10 м описаны флористический состав, количественное соотношение видов, их фенологическое состояние, структура сообществ (рис. 4).

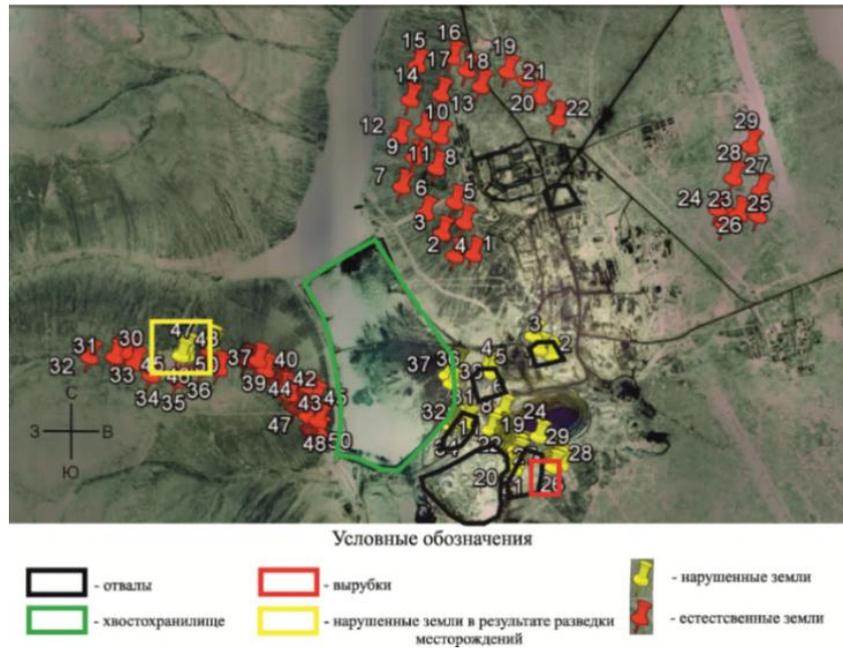


Рис. 4. Точки описаний растительности естественных и нарушенных земель на территории Айхальского горно-обогатительного комбината

Растительность отвалов находится на начальной стадии сукцессионного развития (Миронова, 2000). Лишены растительности более поздние (свежие) высокие отвалы и их откосы, также промышленные площадки, где проведено частичное выравнивание поверхности (технический этап рекультивации), которое привело к сильному уплотнению грунта, который препятствует закреплению семян и росту растений.

Невыровненные участки старых отвалов начали зарастать до 10–30% проективного покрытия с доминированием хамомиллы (ромашки), хвоща, и встречаются единичные экземпляры звездчатки, смолевки–хлопушки, ячменя гривастого, иван–чая, бескильницы Гаупта. Местами появляются ростки лиственницы и ив высотой до 15 см.

Между отвалами при подъезде к свалке твердых бытовых отходов и по дорогам зарастанием охвачено до 30% участков. Травостой состоит из бескильницы, ячменя, иван–чая и хвоща полевого. Подрост ивы и лиственницы достигает высоты 150 см. На обследованной территории до настоящего времени не отмечены устойчивые сообщества растительности.

На естественных местообитаниях описано 24 вида. Часто встречаются багульник болотный, толокнянка обыкновенная, брусника обыкновенная, береза карликовая, береза кустарниковая, можжевельник обыкновенный, ель сибирская, грушанка копытолистная, береза тощая. Доминируют лиственница Гмелина и голубика – встречаемость 100%.

На отвалах пустых пород отмечено 12 видов – это в 2 раза меньше, чем на естественных сообществах. Активно произрастают ива корзиночная, иван–чай, а также одуванчик аптечный. На границе с естественными сообществами видны единичные

всходы кастиллеи красной, смородины красной, гравилата алеппского, дескурайнии Софии, колокольчика круглолистного, бескильницы Гаупта и голубики. Доминантом здесь является иван-чай узколистый, который быстро распространяется ветром и благодаря многочисленным семенам захватывает большие территории. Со временем все вышеперечисленные виды вытесняются кустарниками и многолетниками. На старых отвалах, расположенных ближе к естественному ландшафту, проективное покрытие доходит до 80%, а видовой состав увеличивается до 9 видов. Высокие показатели проективного покрытия (точки 9–11, 14, 16–18, 37), также наблюдаются в местах сброса твердых бытовых отходов и на рекультивированных участках (табл. 2).

Территорию хвостохранилища по степени зарастания растительностью можно разделить на 2 части. На повышенных местообитаниях (первая часть) проективное покрытие растительности заметно выше, чем на второй части (понижение). Доминируют иван-чай узколистый, ива белая, лисохвост луговой, осока обыкновенная, скерда двулетняя (проективное покрытие 50%). На участках молодой вырубки среднее проективное покрытие составляет 20%. Преобладает лиственница Гмелина с брусникой, багульник болотный, так как участок находится ближе к естественным сообществам.

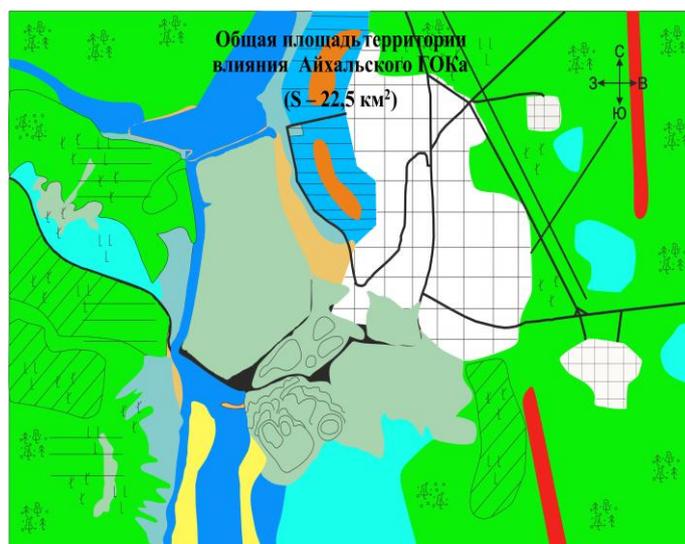
Таблица 2

Показатели проективного покрытия и обилия видов на нарушенных землях Айхальского горно-обогатительного комбината

Объект исследования	Проективное покрытие (среднее значение)	Количество видов
Отвалы пустых пород	5-20%	1-12
Хвостохранилище	10-25%	6-17
Нарушенные земли в результате разведки месторождений	5-25%	26
Вырубки	50-75%	36

По данным полевых исследований нами составлена геоботаническая карта-схема территории (рис. 5), в основу которой положены теоретические принципы и методы геоботанического картографирования, разработанные В.В. Сочава (1974, 1979). Растительность на карте показана на уровне ассоциаций, полученных при эколого-флористической классификации Браун–Бланке (Миронова, 2000) и их модификацией с классификацией А.Н. Лукичевой. Названия типов сообществ даны по традиционной эколого-фитоценотической классификации.

Как видно на карте-схеме преобладающим типом растительности, окружающим карьер, являются голубичное и моховое лишайниковое лиственничное редколесье на склонах и елово-лиственничные и лиственничные лишайниково-кустарниковые леса на структурно-денудационных уступах (47%). Леса у поселка Айхал подверглись лесным пожарам и представлены вторичными преобразованиями. Большая часть долинной растительности уничтожена (53%) при освоении месторождения трубки «Айхал» и в настоящее время входит в участки, лишенные растительности, или под городские постройки.



ЛЕГЕНДА

Растительность пойменно-террасового комплекса:

-  1 – прирусловые галечники и разнотравно-осоковые луга с ерниками.
-  2 – заболоченные мохово-осоковые ерники и ивняки на пойменной террасе и пойме мелких рек.
-  3 – ерниковый моховой лиственный лес на пойменной террасе.
-  4 – багульниковый моховой лиственный лес на пойменной и надпойменной террасах.

Растительность междуречий:

-  5 – пятнистое мелкоосоково-дриадовое лишайниковое редколесье на оползневых склонах.
-  6 – голубичное лишайниковое лиственное редколесье на относительно крутых склонах.
-  7 – комплекс лиственных редколесий: пятнистых мелкоосоково-дриадовых лишайниковых, мохово-лишайниковых голубичных, голубичных лишайниковых на делях и междельевых пространствах.
-  8 – мохово-лишайниковое голубичное лиственное редколесье на пологих склонах.
-  9 – елово-лиственный и лиственный лишайниково-кустарничковый лес с можжевельником на четко выраженных структурно-денудационных уступах.
-  10 – багульниково-мохово-лишайниковое редколесье на плоском водоразделе.
-  11 – лиственные после пожарные голубично-ерниковые и ивняковые молодяки разного возраста, развивающиеся на месте различных коренных ассоциаций лишайниковых редколесий.
-  12 – участки, лишенные растительного покрова (отвалы пустых пород, карьеры, хвостохранилища, строительные площадки).

-  - дороги
-  - городские строения
-  - смешанный лес
-  - вырубленный лес
-  - лиственный лес
-  - лес горелый, сухой

Рис. 5. Геоботаническая карта-схема Айхальского ГОКа

Вокруг карьера идет интенсивная трансформация растительности. По изменению жизненного состояния растений, видового состава и структуры основных фитоценозов промышленных земель по В.Г. Волковой, Н.Д. Давыдовой (1987) нами выявлено 3 степени трансформации растительности: слабая, средняя и сильная. При слабой трансформации наблюдается незначительное обеднение видового состава, структура сообществ почти не нарушается, наблюдается лишь некоторое изреживание ярусов травостоя.

Средняя степень характеризуется угнетенностью жизненного состояния древостоя, подлеска и подростка, существенным изменением в видовом составе и структуре травостоя, появлением луговых трав.

При сильной трансформации полностью угнетаются все ярусы, начиная от древесного до травянистого. В структуре травостоя происходит смена эдификаторов и доминантов всех ярусов, нарушается лесная подстилка, а местами она вообще исчезает.

По данным геоботанической карты-схемы и изучения техногенной поверхности, грунтов и растительности нами разработана карта-схема рекультивационного потенциала территории (рис. 6).

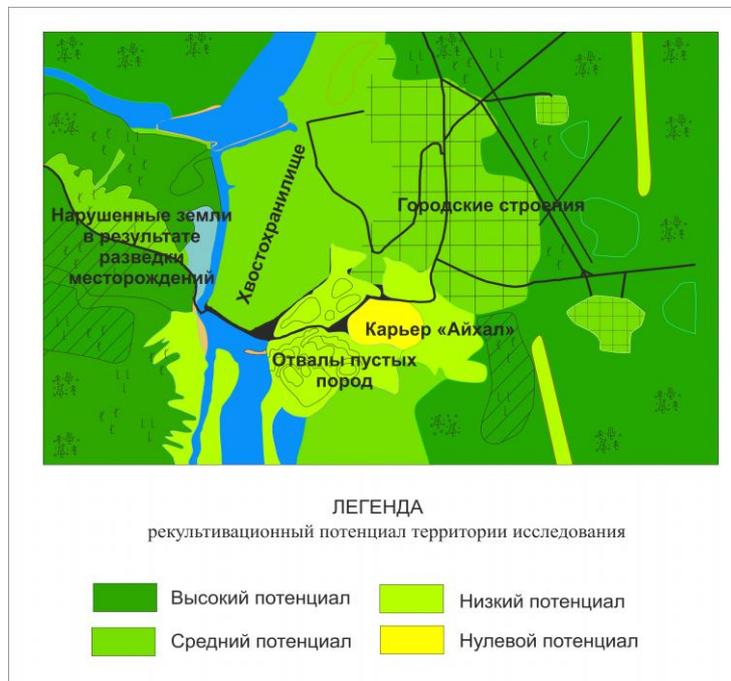


Рис. 6. Карта-схема рекультивационного потенциала территории исследования

Как видно из карты-схемы рекультивационного потенциала, на территории АГОК преобладают участки с низким и средним рекультивационным потенциалом, и они являются главными объектами биологической рекультивации.

Показатели рекультивационного потенциала нарушенных земель АГОК представлены в таблице 3.

Таблица 3

Показатели уровня рекультивационного потенциала нарушенных земель АГОК

Показатели уровня рекультивационного потенциала	Формы техногенной поверхности	Состояние техногенных грунтов	Состояние техногенной растительности
Высокий	Природно-техногенные ландшафты без нарушений	Природно-техногенные типы почв	Преобладание природно-техногенных сообществ
Средний	Хвостохранилище и промышленные площадки	Техногенные грунты	Техногенная растительность, зарастающая до 25% площади
Низкий	Отвалы карьера «Айхал»	Грунты отвалов карьера «Айхал»	Зарастание растительности до 5%
Нулевой	Карьер	Отсутствуют	Отсутствуют

Высоким рекультивационным потенциалом отличаются ненарушенные и частично нарушенные участки территории. На них можно проводить частичные мероприятия по биологической рекультивации (подсев семян, внесение удобрений).

К среднему рекультивационному потенциалу относятся территории хвостохранилища и промышленных площадок, где идет процесс самозарастания растительности до достижения 25% проективного покрытия.

К низкому рекультивационному потенциалу относятся отвалы пустых пород с седловинно-отвальным рельефом и с начальной стадией зарастания (до 5%).

Сам карьер «Айхал» соответствует нулевому рекультивационному потенциалу.

ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПО БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НА ОТВАЛАХ КАРЬЕРА «АЙХАЛ»

Анализ технологии проведения экспериментальных работ по биологической рекультивации отвалов карьера «Айхал».

Отвал карьера «Айхал» (рис. 7), выделенный во время рекогносцировочных обследований, соответствует для проведения экспериментальных работ по биологической рекультивации по следующим параметрам:

- отвал отсыпан вблизи рудной базы недалеко от расположения АГОКа и п. Айхал, что удешевляет доставку необходимых для заложения опытов материалов, создает благоприятные условия для ухода за участками;

- отвал доступен для транспорта и расположен в центре транспортной магистрали;

- поверхность отвала выровнена на 50%, вторая часть состоит из крупно-глыбистых пород, что характерно для многих отвалов комбината.

По классификации грунтов для биологической рекультивации земель (ГОСТ 17.5.1.03-86), грунты отвалов относятся к малопригодной группе для биологической рекультивации по сельскохозяйственному направлению, по физическому и химическому составу грунтов.

Выбранный для биологической рекультивации отвал расположен восточнее карьера вблизи подъездных дорог и отвала руды. Он представляет собой техногенный холм высотой до 30 м и с углом откоса до 40°. Поверхность отвала отсыпана пустыми породами и спланирована бульдозером, состоит из многочисленных борозд, а также остаточных куч грунта. Грунты отвала имеют щелочную среду и бедны биогенными элементами, выявлено незначительное содержание подвижного фосфора. Химическими анализами установлено незначительные превышения ПДК и коэффициента фитотоксичности по элементам 2 и 3 класса опасности – бора, меди и ванадия (Данилов, Петров, 2012).

Растительность поверхности отвала полностью уничтожена тяжелой техникой, выполняющей вывоз грунтов на строительство дороги. По откосам произрастают единичные экземпляры ив, разнотравья.

Схема опытов. С учетом дефицита на территории АГОК потенциально плодородного слоя при выборе способов биологической рекультивации нами поставлены следующие задачи:

- использование способа биологической рекультивации без отсыпки плодородного слоя;

- оценка эффективности рассматриваемых способов биологической рекультивации;
- оценка экономической целесообразности рассматриваемых способов.

На алмазных месторождениях Якутии биологическая рекультивация без отсыпки плодородного слоя не проводилась. Способы и методы рекультивационных работ выбраны нами на основе анализов и опытных исследований НИИ Института прикладной экологии Севера СВФУ (Миронова, 2000, 2016; Миронова и др., 2005; Миронова и Иванов, 2005).

При проведении экспериментов в общеизвестные способы и методы по биологической рекультивации нарушенных земель нами были внесены некоторые коррективы с учетом природных условий отвалов карьера «Айхал». Нами выбрано 6 способов биологической рекультивации и один фоновый участок. Общая схема опытов на отвале представлена на рисунке 7.

Экспериментальные участки размерами 10x10 м расположены как на поверхности отвала (первая повторность), так и на откосах (вторая повторность).

В диссертации описаны все 6 способов, в автореферате два наиболее подходящих для условий Айхальского ГОКа способа – применение старики (ветоши) и отходов канализационно-очистных сооружений (КОС).



Рис. 7. Схема расположения экспериментальных участков по биологической рекультивации на отвале Айхальского ГОКа

Способ 1. Применение старики. Две повторности: 1.1 и 1.2 - на поверхности.

Способ 2. Применение гидропосева на откосах.

Способ 3. Применение биоматов. Две повторности: 3.1 - на поверхности отвала; 3.2 - на откосе.

Способ 4. Применение отходов канализационно-очистных сооружений (КОС)

Способ 5. Применение конского навоза. Две повторности: 5.1 - без посева семян трав; 5.2 - с посевом семян трав.

Способ 6. Применение перегноя с песком. Две повторности: 6.1 и 6.2 - на поверхности.

7. Фоновый участок. Четыре повторности: 7.1 и 7.2 - на поверхности; 7.3 - на откосе.

Итоги экспериментальных исследований 2011-2017 годов отражены на рисунках 8 и 9. Сравнение способов биологической рекультивации на отвалах карьера «Айхал» показало следующее:

Самые высокие показатели у способов с применением старьки и отходов КОС. Их применение подходит для горнодобывающих предприятий по следующим условиям:

- старька (ветошь) и отходы КОС имеются на территории АГОК;
- способы менее трудоемки и экономически эффективны по сравнению с другими способами опыта;
- результаты эксперимента можно использовать в производственном масштабе.

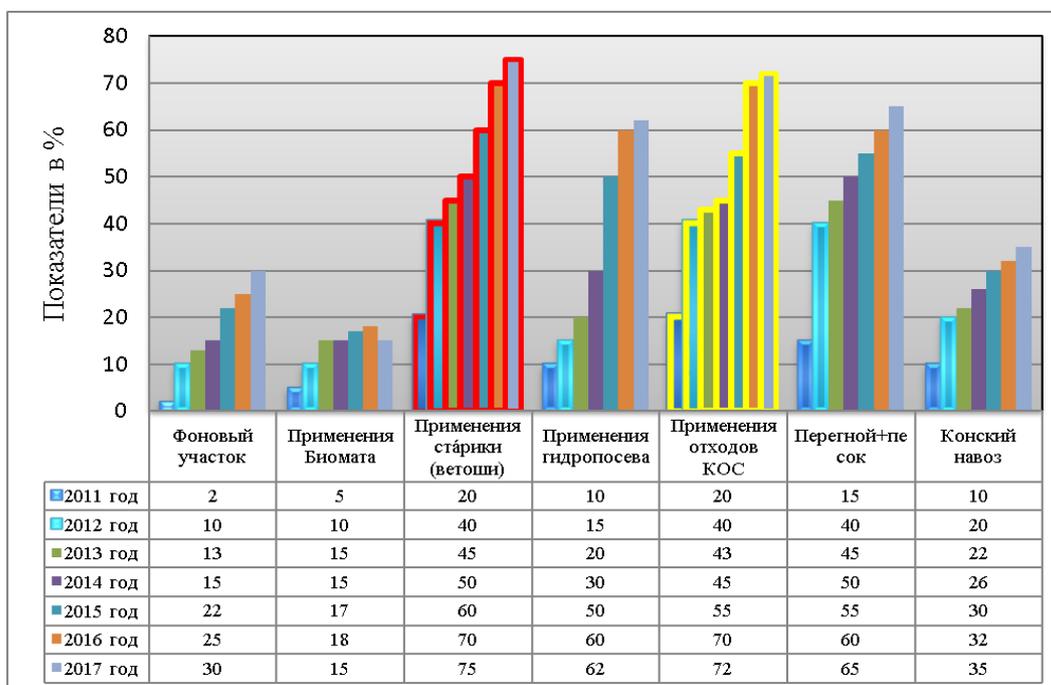


Рис. 8. Изменения среднего проективного покрытия на экспериментах (2011-2017 гг.) в %.

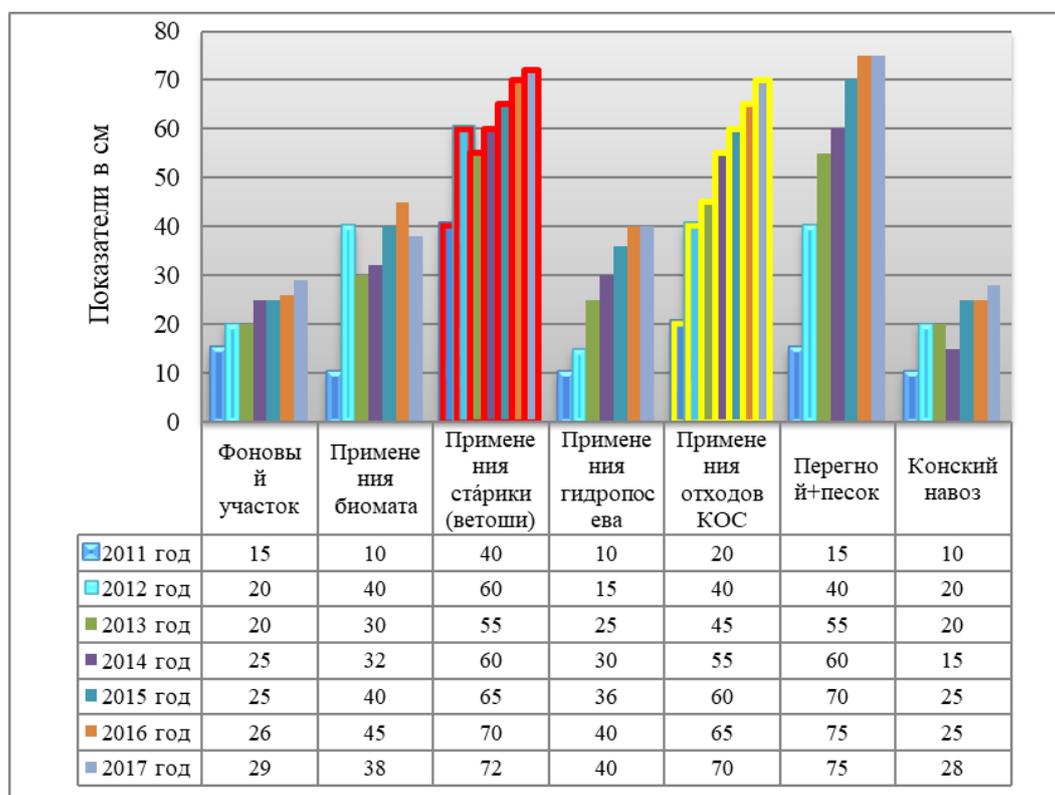


Рис. 9. Изменения высоты травостоя на экспериментах (2011-2017 гг.) в см.

Результаты и их обсуждение.

Способ применения старики (ветоши). Старикой называют сухую прошлогоднюю траву на лугах. В ее состав входят все нескошенные растения или отава после сенокоса, т.е. это луговые злаки, бобовые и разнотравье, а также реже осоковые растения. Именно по долине р. Сохсолох, где была собрана старика, преобладали следующие виды растений - вейники, осоки и лисохвост луговой.

Применение старики имеет свои положительные стороны. Старика доступна, дает быстрый эффект, обладает комплексным защитным свойством. В условиях отсутствия на отвалах регулярного полива посевов, старика будет задерживать влагу в летний сезон, а зимой будет служить защитным слоем от морозов, ветра и эрозии, для отвальных грунтов она является дополнительным субстратом, а при гниении – питательным субстратом.

Технология способа состоит в следующем. Производят сбор старики и доставку её к рекультивируемым и выровненным площадкам. После подготовки посевных рядов производят посев семян травосмеси местных видов растений. Сначала на поверхность отвала внесли минеральные удобрения, а затем укрыли посевы старикой и закрепили камнями или песком. Оптимальная толщина слоя старики составляет на поверхности отвала 8-10 см, на откосах отвалов до 20 см. Внесение азотно-фосфорных удобрений в норме 100 кг/га обеспечивает полноценную подкормку всходов посеянных травосмесей как однолетних, так и многолетних растений.

Результаты биологической рекультивации с применением старики отражены на рисунке 10.

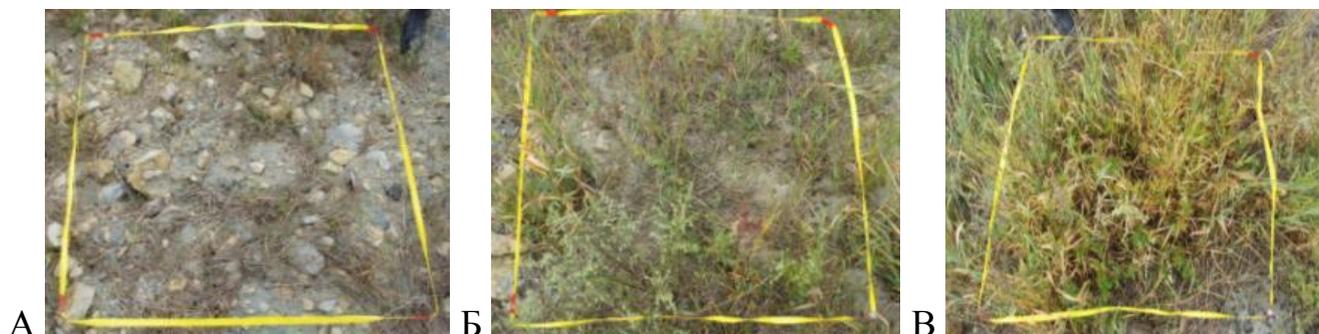


Рис.10. Показатели среднего проективного покрытия по годам исследований в экспериментах с применением старики (ветоши)

А. 20% в 2011 г.; Б. 50% в 2012 г.; В. 72% в 2017 г.

Способ применения отходов канализационно-очистных сооружений (КОС).

Использование осадков сточных вод в качестве органических удобрений регламентируется ГОСТом Р. 17.4.3.07–2001 «Требования к осадкам сточных вод при использовании в качестве органических удобрений» и санитарными правилами и нормами СанПиН 2.1.7.573–96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения».

Для отвалов Айхальского ГОКа были выбраны промышленные отходы – осадки сточных вод канализационных очистных сооружений (КОС) для использования в

качестве органического удобрения, содержащего в доступных формах элементы, необходимые для развития растений.

Осадки сточных вод КОС представляют собой сложную смесь с высоким содержанием воды, в которой биологически безвредные вещества прочно связаны с загрязняющими токсичными компонентами органической и неорганической природы. Осадки сточных вод КОС привезли из промышленной площадки карьера «Юбилейный». Агрохимические и санитарно-бактериологические и санитарно-паразитологические показатели осадков соответствуют СанПиНу 2.1.7.573-96.

Способ использования отходов КОС полезен и как богатый питательными веществами субстрат для растительности, и как мероприятие по утилизации отходов КОС.



Рис. 11. Стадии работ по использованию отходов КОС
1.- 2010 год (подготовительные работы); 2. - 2012 год

Опытные работы начались в июне 2011 года на участке, расположенном на поверхности отвала (рис. 11). Были выполнены следующие виды работ:

- заложение экспериментальной площадки размером 10x10м;
- предварительная планировка поверхности для проведения (уборка больших валунов, хлама, разравнивание поверхности и т.д.);
- нанесение отходов КОС ориентировочно в объеме 10,0 м³ при помощи вакуумной машины КО-505А для сбора фекальных жидкостей на базе шасси КАМАЗ-53215;
- посев семян растений и внесение удобрений.

Результаты среднего проективного покрытия представлены на рисунке 12.



Рис.12. Показатели среднего проективного покрытия по годам исследований в экспериментах с применением отходов канализационно-очистных сооружений (КОС)

А. 20% в 2011 г.; Б. 40% в 2012 г.; В. 70% в 2017 г.

Эксперименты показали, что для воссоздания плодородных техногенных грунтов вначале можно высевать травы, не предъявляющие высоких требований к почвенным условиям, т.е. сорные быстро распространяющиеся и многосемянные.

Результаты отклоненных способов биологической рекультивации отвалов карьера «Айхал» Айхальского ГОКа представлены более подробно в диссертационной работе в главе 4.

Обсуждение результатов исследования

Территория Айхальского ГОКа расположена на севере Якутии и отличается суровыми природно-климатическими условиями, препятствующими технологии добычи и восстановлению (рекультивации) земель после нарушения.

Исследования территории карьера «Айхал» показали, что на территории типы техногенного рельефа представлены собственно карьером «Айхал», отвалами пустых пород, хвостохранилищем, нарушенными землями в результате разведки месторождений. Состав грунтов отвалов согласно ГОСТам относится к малопригодной группе для биологической рекультивации из-за отсутствия плодородных пород для отсыпки. В этих условиях необходимо было применить нетрадиционные способы биологической рекультивации, заменяющие плодородный слой почвы.

Растительность отвалов в зависимости от возраста представлена 12-36 видами. По сравнению с другими регионами это мало. Например, на отвалах Экибастузского угольного бассейна биоразнообразие в 4-10 раз больше (Русина, 2015). Это свидетельствует о том, что для рекультивации в условиях АГОК могут быть использованы ограниченные виды растений - рекультивантов.

По степени гемеобности нами выделены 3 степени трансформации растительности, отличающиеся по структуре и составу растительности: слабая, средняя и сильная.

Разработанная нами геоботаническая карта-схема показала 53% нарушенности территории АГОК и позволила нам разработать карту-схему рекультивационного потенциала территории. Так, выделено 4 уровня рекультивационного потенциала – высокая, средняя, низкая и нулевая. Карта-схема показала преобладание на территории АГОК участков с низкой (отвалы пустых пород) и средней (хвостохранилище и промышленные площадки) степенью рекультивационного потенциала. Они же являются первыми объектами биологической рекультивации.

Нами разработано 6 способов и 1 фоновый (контрольный) участок для биологической рекультивации отвала без отсыпки плодородного слоя с заменой его нетрадиционными материалами (применение старики (ветоши), перегноя и песка, конского навоза, использование гидропосева, отходов канализационно-очистных сооружений (КОС) и биомата). В других регионах России и мира отсыпка плодородных грунтов обязательна. В нашей ситуации отсыпка плодородного слоя фактически невозможна в связи с их отсутствием, или экономической нецелесообразностью их отсыпки, учитывая характер подстилающих пород траппового характера.

При разработке методов мы опирались на природно-климатические условия района и условиям обитания растений:

- на поверхности отвалов в результате сноса снежного покрова ветром создаются неблагоприятные условия для перезимовки растений;

- по сравнению с другими регионами проблемы создают и суровые климатические факторы, и сильные ветры;
- небольшой выбор посадочного материала из окружающей естественной растительности;
- использование способа биологической рекультивации без отсыпки плодородного слоя;
- применение положительных результатов исследований в других регионах или странах;
- применимость способов в условиях Севера;
- степень апробации способов на карьерных отвалах;
- экологическая эффективность способов рекультивации;
- экономическая выгодность способов для предприятия.

Эти отличительные критерии вполне можно считать типовыми для любого горнодобывающего предприятия на территории Крайнего Севера.

Первый же год эксперимента (2011 г.) показал положительные стороны всех шести способов биологической рекультивации. По вышеперечисленным критериям соответствовали только 2 способа, которые нами использованы при биологической рекультивации отвалов Крайнего Севера и адаптированы для изучаемого отвала – способ использования старики и отходов канализационно-очистных сооружений (КОС). Данные способы являются менее трудоемкими, экономически эффективны по сравнению с другими способами и могут быть применены в условиях Крайнего Севера впервые.

Применение старики в биологической рекультивации отвалов алмазодобычи в республике проведены впервые. В других странах этот метод применяют для других целей и в небольших объемах только для огородов, в теплицах, чаще всего в частном секторе.

Применение отходов канализационно-очистных сооружений (КОС) в качестве удобрений общеизвестно, при этом чаще всего применяются только как элементы отходов КОС в сухом виде, а для рекультивации карьеров в целом, в алмазодобыче северных территорий в частности еще не проводились, тем более в предлагаемом виде. В зарубежных странах, в Северной Америке разработана и применяется стратегия обработки - последовательное уплотнение, анаэробное сбраживание в течение 20 дней, затем использование их в сельском хозяйстве в качестве удобрений (Гурина, 2008), это связано с качественной технической и биологической очисткой осадков канализационно-очистных сооружений.

В Японии также применяются различные технологии по обеззараживанию отходов КОС и их применение в сельском хозяйстве (Matsuzaki, 1985). В Великобритании используют ОСВ для удобрения около 1,5% сельскохозяйственных угодий. Для этого на поля вносится около 350 тыс. тонн ОСВ в пересчёте сухое вещество. Применение ОСВ рассматривается в основном как способ их утилизации. Считается, что при внесении на поля всего объёма ОСВ, образующихся на очистных станциях страны, можно удовлетворить потребность сельского хозяйства в фосфоре, азоте и калии только на 5,4%, 4% и 0,25%, соответственно (Davis, 1989).

В целом КОС используется как удобрение, питательное вещество и взамен плодородного слоя (Wilson, Rahe, Webber, 1985; Logan, Burnham, 1993; Lue-Hing, Zenz,

Pietz, Granato, 1993; Clapp, Dowdy и другие 1993; Skousen, Clinger, 1993; Daniels, Stuczynski и др. 1995). Нами была применена механическая очистка путем отстаивания отходов КОС в течение двух дней, при соблюдении требований ГОСТа и СанПиНа (ГОСТ Р 17.4.3.07–200; СанПиН 2.1.7.573–96).

Рекультивация нарушенных земель алмазных месторождений проводится только в Якутии. Экспериментальные работы же показали, что на отвалах карьера «Айхал» рекомендуется проведение биологической рекультивации без отсыпки плодородного слоя, заменяя их отсыпкой слоя стариковой и отходами КОС. Если сравнить работы, проведенные на отвалах карьера «Мир» в окрестностях г. Мирного в 2002 году, то на тех отвалах были частично засыпаны вскрышными породами из россыпного месторождения «Водораздельные галечники». На угольном разрезе «Нерюнгринский» сотрудниками НИИПЭС СВФУ (Миронова, 2016) были проведены рекультивационные работы без отсыпки плодородного слоя с внесением минеральных удобрений (аммофоска) в дозе 100 кг/га. Результаты работы показали всхожесть растений от 80 до 100%, т.к. угольные грунты сами являются субстратом для роста, развития растений, и вероятно, это еще связано с климатическими условиями, так как угольный разрез «Нерюнгринский» находится на юге республики, а отвалы пустых пород карьера «Айхал» за полярным кругом, в резкоконтинентальных климатических условиях.

Примененные нами способы позволили добиться аналогичных показателей в северных условиях, а также в более жестких по почвогрунтам местообитаниях. По итогам работы получен акт внедрения (приложение Б), а в составе коллектива из НИИПЭС СВФУ автором был получен патент РФ (приложение В).

Известно, что при правильном использовании технологий проведения рекультивации в различных регионах мира создаются парки, музеи, рекреационные участки, лесные массивы, которые привлекают население и туристов. Аналогичные работы на территории республики можно провести и в некоторой перспективе.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования по изучению нарушенных земель при открытой добыче алмазов в карьере «Айхал» позволили сделать следующие выводы:

1. В результате техногенного воздействия в зоне влияния Айхальского ГОКа нарушено 53% территории, из них отвалы пустых пород занимают 7,5%, хвостохранилище 11%, карьер «Айхал» – 2%, остальные – 32%.

2. Почвогрунты отвалов представлены легкими суглинками. Превышений установленных норм ПДК (ГОСТ 17.4.1.02-83) и коэффициента фитотоксичности в момент исследования в грунтах и почвогрунтах исследованных отвалов не зафиксировано, за исключением меди, содержание которой в некоторых участках отвалов превышает ПДК в 1,8 раз.

3. По классификации вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель (ГОСТ 17.5.1.03-86) грунты и почвогрунты исследуемых отвалов относятся к малопригодной группе по физическим свойствам и химическому составу.

4. На нарушенных участках идет начальная стадия зарастания растительности рудеральными видами. Сукцессионный процесс можно ускорить путем проведения биологической рекультивации с отбором подходящих для условий региона способов.

5. Определен рекультивационный потенциал нарушенных участков – состояние техногенной поверхности, грунтов и растительности. Выделено 4 степени рекультивационного потенциала – нулевая, низкая, средняя и высокая. Сам карьер относится нулевому рекультивационному потенциалу. Низкий потенциал отмечен у отвалов пустых пород с начальной стадией зарастания техногенных грунтов. Средний потенциал – на территории хвостохранилища и городских строениях с зарастанием растительности до 25%. Высоким рекультивационным потенциалом отличаются частично нарушенные участки (природно-техногенный рельеф).

6. В результате экспериментальных работ по биологической рекультивации отвалов карьера «Айхал» с выбором шести способов (применение навоза, перегноя, песка, гидропосева, биомата, старики и КОС) определили наиболее эффективные способы рекультивации без отсыпки плодородного слоя. По основным показателям способов более эффективными для условий АГОК является способ применения старики и отходов канализационно-очистных сооружений (КОС).

7. Применение старики за 6 лет эксперимента показало, что проективное покрытие травостоя меняется в пределах от 0 до 75%, а средняя высота травостоя - от 0 до 70 см. В видовом составе растений преобладают донник белый, ромашка аптечная, марь белая, полынь монгольская и горец.

8. Использование КОС имеет результаты, увеличивающиеся из года в год. При этом в видовом составе преобладают пырейник, полынь монгольская, донник белый, люцерна посевная - виды растений, рекомендуемые для проведения биологической рекультивации нарушенных земель в условиях Крайнего Севера.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Никифоров, А.А., Техногенная трансформация ландшафтов Якутии / А.А. Никифоров, С.И. Миронова // Журнал «Наука и образование». - 2016. - №2. – С. 140-145

2. Никифоров, А.А., Техногенная трансформация растительности на территории Айхальского горно-обогатительного комбината АГОК / А.А. Никифоров, С.И. Миронова // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия «Естественные науки». – 2017. - С. 14-20

3. Никифоров А.А., О необходимости проведения биологической рекультивации в условиях Севера / А.А. Никифоров, С.И. Миронова, В.В. Иванов // Российская академия естествознания. Журнал «Успехи современного естествознания». – 2018. №2. – С. 119-123

4. Mironova S. I., Poiseeva S. I., Kudinova Z. A., Nikiforov A. A. Vegetation of the Northern technogenic landscape of South Yakutia. // Journal of Environmental Management and Tourism - (Volume VIII, winter), No 7 (23). 2017. P. 1381-1385.

5. Никифоров, А.А., Миронова, С.И., Петров, А.А., Данилов, П.П., Гаврильева, Л.Д. Использование метода гидропосева для биологической рекультивации отвалов Айхальского ГОКа / А.А. Никифоров, С.И. Миронова, А.А. Петров, П.П. Данилов, Л.Д. Гаврильева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 6 (часть 3). – С. 411-412

6. Никифоров, А.А. Правовые и природоохранные документы для проведения рекультивации нарушенных земель // Отходы в доходы: Материалы II республиканской

научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов, посвященной Международному дню Земли. 22 апреля 2011 г. – Якутск: Издательский дом СВФУ. 2012. – С. 32-34

7. Никифоров, А.А. Разработка и внедрение эффективного способа биологической рекультивации земель, нарушенных при добыче алмазов в Крайнем Севере // Природопользование на Севере. Проблемы экологической и социальной безопасности: материалы Всероссийской научно-практической конференции. 15 ноября 2012 г. – Якутск, 2012. – С. 140-142

8. Никифоров, А.А. Правовые и природоохранные документы для проведения рекультивации нарушенных земель // Отходы в доходы: материалы III республиканской научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов, посвященной 20-летию кафедры экологии БГФ СВФУ (Якутск, 21 апреля 2012 г.). – С. 38-41

9. Никифоров, А.А. Разработка и внедрение эффективного способа биологической рекультивации земель, нарушенных при добыче алмазов в Крайнем Севере // Сборник материалов XVI Лаврентьевских чтений РС (Я): материал научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 20 апреля 2012 г. – Якутск. – С. 30-34

10. Никифоров, А.А., Миронова, С.И. Нарушенные земли при добыче алмазов и проблемы их рекультивации / Никифоров А.А., Миронова, С.И. // Журнал Российской академия естествознания. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 8 (часть 2). – С. 235-237

11. Никифоров, А.А. Особенности нарушения земель на месторождениях алмазов в Якутии // География, экология, туризм: научный поиск студентов и аспирантов: материалы II Всерос. научно-практ. конф. – Тверь, Твер. гос. ун-т. 2014. – 240 с.

12. Никифоров, А.А. Особенности нарушения земель на месторождениях алмазов в Якутии // Экология России: на пути к инновациям. – 2014. – №9. – С. 11-14

13. Никифоров, А.А., Миронова, С.И. Инновационные методы рекультивации: Применение осадков КОС (Канализационно-очистных сооружений) при биологической рекультивации отвалов / А.А. Никифоров, С.И. Миронова // IV Международная научная конференция на тему: «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства». – Краснодар. Кубанский государственный университет. – 2015. – Ч. I. – С. 805

14. Никифоров, А.А., Миронова, С.И. Техногенная трансформация экосистем Севера и их восстановление (на примере Айхальского ГОКа) / А.А. Никифоров, С.И. Миронова // Сборник материалов конференции IX "Science, Technology and Higher Education". 23-24 декабря 2015. Westwood, Canada. – С. 193

15. Никифоров, А.А. Особенности техногенной трансформации экосистем Якутии / С.И. Миронова, А.А. Никифоров, З. А. Кудинова // В сборнике трудов конференции III Всероссийской научной конференции. Разнообразие почв и биоты Северной и Центральной Азии. – Улан-удэ. 21-23 июня 2016. – С. 207-210

16. Патент № 2497608 от 10.11.2013 г. «Способ биологической рекультивации нарушенных земель Крайнего Севера» (один из авторов).

Никифоров Алексей Афанасьевич

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ОТВАЛОВ
КАРЬЕРА «АЙХАЛ» (ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

ИД 05324 от 09 июля 2001 г. Подписано в печать
Формат 60 84 1/16. Печ. Л. 1,0.
Уч.-изд. Л. 1,25. Тираж 100 экз. Заказ №14

Издательство и типография ФГБУН Институт мерзлотоведения
им. П.И. Мельникова СО РАН.
677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, д. 36, ИМЗ СО РАН.