ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет им. А.М. Горького»

ИОНЦ «ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ»

БИОЛОГИЧЕСКИЙ факультет

кафедра ЭКОЛОГИИ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И МОНИТОРИНГ НАРУШЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ ЗЕМЕЛЬ

Екатеринбург
2008

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет им. А.М. Горького»

ИОНЦ «ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ»

БИОЛОГИЧЕСКИЙ факультет

кафедра ЭКОЛОГИИ

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И МОНИТОРИНГ НАРУШЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ ЗЕМЕЛЬ

Учебное пособие
(Курс лекций)

Подпись руководителя ИОНЦ
Дата

Екатеринбург
2008

Инновационный курс «Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных промышленностью земель» в рамках УМК магистерской программы «Экология природопользования» нацелен на формирование у бакалавров и магистрантов современных научных представлений в области биологической рекультивации и мониторинга нарушенных промышленностью земель; ознакомление их с арсеналом новейших методов исследований, позволяющих выпускникам применить эти знания на практике; создание необходимых условий для подготовки высококвалифицированных кадров в междисциплинарных областях по экологии и рациональному природопользованию, популяционной экологии и морфологии, а также биомониторинга экосистем.

Наиболее полное изложение данной дисциплины дано в специально разработанном инновационном учебном пособии «Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных промышленностью земель» для бакалавров и магистрантов по специальности «экология» 020801 биологического факультета университета при углубленном изучении проблем культурфитоценологии, адаптационных возможностей видов растений и в целом автотрофного блока в техногенных экосистемах.

© Уральский государственный университет
© Т.С. Чибрик, М.А. Глазырина, 2008

ВВЕДЕНИЕ

Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных промышленностью земель – проблема комплексная. При ее проведении осуществляется моделирование экотопа (в первую очередь – эдафотопа), культурфитоценозов разного направления использования, создание (конструирование) устойчивых, продуктивных и хозяйственно ценных биогеоценозов. Решение этой проблемы, с одной стороны, является задачей нового научного направления – промышленной ботаники: выявление состава и особенностей роста и развития растений и установление сукцессионных смен фитоценозов техногенных ландшафтов, возникших как в процессе естественного восстановления растительного покрова, так и появившихся в процессе биологической рекультивации. С другой стороны, конструирование фитоценозов в этих специфических неоэкотопах – задача культурфитоценологии и агрофитоценологии со всем комплексом возникших вопросов.

В Уральском госуниверситете более 40 лет проводятся комплексные исследования по проблеме биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель. Техническая подготовка поверхности техногенных объектов (технический этап рекультивации) делает биологическую рекультивацию возможной, но не ликвидирует все неблагоприятные эдафические условия этих своеобразных экотопов. Преодоление или сведение к минимуму неблагоприятных экологических условий возможно в двух направлениях: за счет улучшения всеми доступными способами свойств субстрата (водно-физических, агрохимических и др.) и подбора подходящего для этих условий ассортимента видов. Учебное пособие строится на основе комплексных исследований, проведенных в Уральском государственном университете им. А. М. Горького с учетом опыта других научных коллективов таких, как Днепропетровский государственный аграрный университет (ДГАУ, г. Днепропетровск Украина), Днепропетровский национальный университет (ДНУ, г. Днепропетровск Украина), Донецкий ботанический сад (ДонБС НАН Украины, г. Донецк) и др.

В основе биологическая рекультивация – своеобразный вид деятельности. Во-первых, она выделяется специфичностью субстратов, на которых конструируется биоценоз. Это или древние геологические породы, или продукты промышленной переработки, не имеющие аналогов в природе. Зачастую есть необходимость и некоторая возможность конструирования экотопа (рельеф, подбор подходящего по свойствам субстрата и т. п.). Во-вторых, при биологической рекультивации важным моментом является подбор ассортимента видов в зависимости от свойств субстрата отвалов и направления биологической рекультивации.

Экологический мониторинг нарушенных промышленностью земель заключается в сборе информации и создании базы данных для принятия стратегических и оперативных решений в системе управления деятельностью производственных предприятий, необходимых для обеспечения: экологической безопасности проектируемых и повышения экологической безопасности существующих производственных объектов; для организации контроля состояния окружающей среды в целях предотвращения негативных изменений экологической обстановки; для прогнозирования изменения состояния природных экосистем в целях корректировки проектных решений и своевременной разработки защитных и компенсационных мер по охране окружающей среды.

Организация и проведение локального экологического мониторинга являются необходимым инструментом, позволяющим контролировать антропогенное давление на природную среду, изменения состояния ее компонентов в связи со спецификой проявления экологических последствий деятельности конкретных промышленных объектов.

Учебное пособие «Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных промышленностью земель» будет способствовать подготовке специалистов по вопросам биологической рекультивации, весьма актуальной для Уральского региона: позволит сформировать у студентов и магистрантов современные научные представления в области биологической рекультивации и мониторинга нарушенных промышленностью земель; ознакомит их с арсеналом новейших

методов исследований, позволяющих выпускникам применить эти знания на практике; создаст необходимые условия для подготовки высококвалифицированных кадров в междисциплинарных областях по экологии и рациональному природопользованию, популяционной экологии и морфологии, а также биомониторинга экосистем.

Лекция 1
БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ КАК ОТРАСЛЬ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ

Краткий очерк развития исследований и работ по биологической рекультивации в СССР и за рубежом. Термины и определения. Направления рекультивации. Характеристика нарушенных промышленностью земель и их классификация. Промышленные отвалы и их классификации. Состав и свойства вскрышных пород и их классификация.

Краткий очерк развития работ по биологической рекультивации в СССР и за рубежом

Исследования по проблеме биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций начаты В. В. Тарчевским в 1959 г., который при кафедре ботаники Уральского университета организовал хозрасчетную лабораторию промышленной ботаники и при поддержке «Свердловэнерго» и непосредственно производственных организаций начал цикл опытных исследований по разработке способов и методов покрытия растительностью шлаконаливных полей (золоотвалов) тепловых электростанций на базе Березниковской и Красногорской ТЭЦ, Нижнетуринской ГРЭС. Примерно к этому периоду относится начало серии работ Б. Я. Сигалова (Главный ботанический сад АН СССР, г. Москва), которые, к сожалению, не получили широкого развития.

В развитии исследовательских работ на золоотвалах в Уральском университете довольно четко прослеживается несколько этапов. Десятилетие 60-х г.

XX в. характеризуется широким развертыванием опытно-производственных посадок и посевов с целью отработки технологии создания растительного покрова на базовых золоотвалах и подбора ассортимента видов для этих целей. Всего испытано свыше 15 видов деревьев и кустарников (11 видов рекомендовано к использованию) и более 250 видов травянистых растений, из которых признано пригодными 19 видов хозяйственно ценных растений (преимущественно многолетних трав). Эти работы послужили основой для разработки рекомендаций по озеленению золоотвалов тепловых электростанций Урала (Опыт закрытия растительностью шлаконаливных полей (золоотвалов)..., 1962; Озеленение золоотвалов тепловых электростанций Урала, 1964).

В исследованиях этих лет большое внимание уделялось изучению взаимоотношений растений в специфических эдафических условиях золоотвалов, были начаты работы, связанные с исследованием процессов самозарастания зольного субстрата. В этот период проведены исследования альгофлоры золоотвалов и микробиологических свойств золы.

Теоретическим итогом этого периода явилась защита докторской (Тарчевский, 1967) и двух кандидатских диссертаций (Пикалова, 1968; Шубин, 1970). Практически по разработанным рекомендациям была осуществлена частичная рекультивация ряда золоотвалов (Красногорской ТЭЦ, Серовской ГРЭС, Нижнетуринской ГРЭС, Южноуральской ГРЭС и др.) на площади 210 га.

В 70-х г. исследования продолжены по начатой тематике. Была осуществлена серия работ по росту и развитию пионерных растений на золоотвалах и проявлению аллелопатической активности семян и проростков при выращивании их на зольном субстрате. В этот период под руководством чл.-корр. АН СССР Б. П. Колесникова группой сотрудников и студентов проведена инвентаризация растительности золоотвалов тепловых электростанций Урала и центральной части Восточно-Европейской равнины. На Урале изучались опытные и производственные культурфитоценозы, созданные в 1959–1968 гг. на золоотвалах, расположенных в разных зонально-географических районах Урала, в частности в пределах таежной (Серовский, Нижнетуринский, Верхнетагильский,

Березниковский золоотвалы) и лесостепной (Южноуральский, Красногорский золоотвалы) зон. Это позволило выявить некоторые закономерности формирования растительного покрова на золоотвалах Урала, которые сводились к следующему:

– процесс естественного самозарастания на «чистой» золе очень замедлен;

– созданные культурфитоценозы стимулируют и ускоряют этот процесс, но неустойчивы, наблюдается быстрое выпадение и изреживание ряда высеянных культур и энергичное внедрение представителей дикорастущей флоры;

– интенсивность и направленность сукцессий культурфитоценозов зависят от зонально-географических условий золоотвала: в таежной зоне они эволюционируют в сторону формирования вейниковых зарослей и щучковых луговых сообществ и усиления роли деревьев и кустарников, т. е. сукцессионные процессы идут в направлении формирования луговых и лугово-лесных сообществ зонального типа;

– производительность культурфитоценозов приближается и даже превышает массу надземных органов травостоя естественных луговых угодий, в структуре общей фитомассы подземные органы преобладают;

– создание культурфитоценозов на золоотвалах, даже без последующего ухода, обеспечивает надежное и быстрое формирование относительно высоко производительных растительных сообществ, имеющих хозяйственное и санитарно-гигиеническое значение.

В других регионах инвентаризация растительности проведена в центральной части Восточно-Европейской равнины СССР (золоотвалы двух Кировских, Ленинградской, Новомосковской, Алексинской, Череповецкой, Зуевской, Старобешевской тепловых станций) и в Казахстане (Карагандинская), изучалась структура и производительность растительных сообществ (Пикалова, Серая, Никулина, 1976). Подробно проанализированы эти показатели для золоотвалов Новомосковской ГРЭС (г. Новомосковск, Тульской обл.), Старобешевской ГРЭС (пос. Старобешево, Донецкой обл.), Алексинской ТЭЦ (г. Алексин,

Тульской обл.), Череповецкой ГРЭС (г. Суворов, Тульской обл.). Данные по остальным золоотвалам использовались для уточнения общих выводов. Полученные результаты, в целом, подтвердили ранее сделанные выводы и в еще большей степени выявили необходимость учета зонально-климатических условий при разработке способов биологической рекультивации золоотвалов. Таким образом, в основном, был обобщен опыт биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций в СССР, что послужило основой для разработки второго варианта Инструкции по их биологической рекультивации, переданной Главному техническому управлению Министерства энергетики и электрификации СССР в 1973 г. В результате для практического использования на тепловых электростанциях было опубликовано Информационное письмо № 1-79 «Постоянное закрепление поверхностей золошлакоотвалов тепловых электростанций» (1979), которое на ВДНХ СССР было отмечено бронзовой медалью.

В этот период Г. И. Махониной (1976) проведены первые работы по изучению начальных этапов почвообразования на золоотвалах, по разработке методов определения подвижных форм фосфора в золе, по минеральному составу растений, выросших на золоотвалах тепловых электростанций Урала.

С начала 1980-х г. и по настоящее время на стационарной основе на золоотвалах Верхнетагильской и Южноуральской ГРЭС ведутся исследования сукцессионных процессов фитоценозов, возникших при самозарастании, и культурфитоценозов, созданных при биологической рекультивации. Изучаются ценопопуляции видов-доминантов. Большое внимание уделяется динамике формирования парциальных флор (восстановлению фиторазнообразия) этих золоотвалов, изучению содержания тяжелых металлов в системе «субстрат–растение» (качество получаемой с золоотвалов фитомассы). Определенный интерес представляют результаты исследований по микосимбиотрофизму формирующихся фитоценозов.

Термины и определения

Нарушенные земли – Земли, утратившие свою хозяйственную ценность или являющиеся источником отрицательного воздействия на окружающую среду в связи с нарушением почвенного покрова, гидрологического режима и образованием техногенного рельефа в результате производственной деятельности человека (ГОСТ 17.5.1.01-83).

Техногенный ландшафт – скопление косной (и биокосной) материи, представленной зданиями и сооружениями, коммуникациями, орудиями и средствами техники, разнообразными продуктами и отходами производственной деятельности общества, отбросами жизни людей и тому подобными образованиями, не встречающимися в составе естественной, не измененной человеком природы (Колесников, 1974).

Рекультивация земель – комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народохозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды. На действующих предприятиях, связанных с нарушением земель, рекультивационные работы должны быть неотъемлемой частью технологических процессов (ГОСТ 17.5.1.01-83).

Биологический этап рекультивации – этап рекультивации земель, включающий мероприятия по восстановлению их плодородия, осуществляемые после технической рекультивации. К нему относится комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на возобновление флоры и фауны.

Технический этап рекультивации – этап рекультивации земель, включающий их подготовку для последующего целевого использования в народном хозяйстве (ГОСТ 17.5.1.01-83).

Стадии технического этапа рекультивации – Планировка. Формирование откосов. Снятие, транспортировка и нанесение почв и потенциально плодородных пород на рекультивируемые земли. Строительство дорог, гидротехнических и мелиоративных сооружений и др.

Характеристика нарушенных промышленностью земель и их классификация

Б. П. Колесников ввел термин *техногенный ландшафт* (см. Колесников, Пикалова, 1974). Он предложил делить все типы ландшафтов географической оболочки Земли на современном этапе ее эволюции не на две противоположные крупные категории – естественные (природные) и антропогенные, а на три:

– *естественные* (природные), подчиняющиеся общим закономерностям развития природы;

– *культурные* (упорядоченные, оптимизированные), состояние и будущее которых постоянно контролируется;

– *техногенные* (акультурные), стихийно сопутствующие техногенезу, неупорядоченные и неудобные для жизни.

«Рекультивация земель, нарушенных промышленностью (промышленных акультурных ландшафтов), слагается из комплекса горнотехнических, инженерных мелиоративных и биологических мероприятий, имеющих целью *создание* и *ускоренное формирование* на площадях, испытавших катастрофические техногенные воздействия и освобождаемых после промышленных разработок, *оптимальных культурных ландшафтов* с продуктивным почвенно-растительным (*биогеоценотическим*) покровом. Характер, хозяйственное и социальное значение рекультивированных ландшафтов определяются задачами оптимизации окружающей среды, требованиями территориального плана районной планировки и народнохозяйственных планов» (Колесников, Пикалова, 1974).

Возможны различные направления рекультивации, т. е. определенное целевое использование нарушенных земель (см., например ГОСТ 17.5.1.01-83):

– *сельскохозяйственное* – создание на нарушенных землях сельскохозяйственных угодий (пашен, сенокосов, пастбищ и др.);

– *лесохозяйственное* – создание лесных насаждений различного типа;

– *рыбохозяйственное* – создание в понижениях техногенного рельефа рыбоводческих водоемов;

– *водохозяйственное* – создание в понижениях техногенного рельефа водоемов различного назначения;

– *рекреационное* – создание на нарушенных землях объектов отдыха;

– *санитарно-гигиеническое*, которое предусматривает биологическую или техническую консервацию нарушенных земель, оказывающих отрицательное воздействие на окружающую среду, рекультивация которых для хозяйственного использования экономически не эффективна;

– *строительное* – приведение нарушенных земель в состояние, пригодное для промышленного и гражданского строительства.

Классификация нарушенных территорий. Виды нарушенных земель чрезвычайно разнообразны, в связи с чем встает вопрос о необходимости их классификации. В качестве примера можно рассматривать классификацию антропогенных форм рельефа Кемеровской области, обусловленных открытой разработкой угля, приведенную в табл. 1 (см. об этом: Трофимов, Овчинников, 1970).

В природных и культурных ландшафтах в связи с искажением первоначального рельефа и появлением на поверхности больших масс глубинных пород происходят следующие главные изменения:

а) частичное или полное уничтожение растительности, животных и микробных сообществ, а также почв, свойственных первоначальному ландшафту. Резкое снижение его биологической продуктивности в целом;

б) уменьшение фонда земель сельскохозяйственного и лесного пользования и соответствующее нарушение природных соотношений и равновесия между лесопокрытыми территориями и пространствами с естественной и культурной травянистой растительностью;

в) изменение типа и скорости геохимического стока и биохимического круговорота химических элементов и в первую очередь – класса ландшафта по элементам и ионам водных мигрантов;

Таблица 1

Формы рельефа Кемеровской области, обусловленные открытой разработкой месторождений угля

Современный антропогенный рельеф								Факторы, определяющие возникновение рельефа	Степень воздействия на природный ландшафт
Денудационные формы				Аккумулятивные формы					
Элементы рельефа	Молодые	Зрелые	Старые	Элементы рельефа	Молодые	Зрелые	Старые		
–	–	–	–	Системы гребней	Сыпучие свежие	Первично зарастающие	Задернованные и облесенные	Внутренние породные отвалы карьеров, разрабатывающих маломощные пласты, при системах с перевалкой вскрыши	Уничтожение исходного растительного и почвенного покрова. Усложнение рельефа. Резкие изменения в гидрологическом балансе ландшафта. Появление на дневной поверхности фитотоксичных пород и загрязнение продуктами их выветривания верховодки
–	–	–	–	Отвалы пластообразные	Сыпучие свежие	Первично зарастающие	Задернованные	Внешние породные одноярусные отвалы при транспортных системах разработки залежей угля с крутым и наклонным падением пластов. Реже – при разработке площадных маломощных пластов с мощной толщей вскрыши	Воздействие на природные ландшафты аналогично вышеописанному, но степень проявления более значительна. Изъятие земель сельскохозяйственного и лесного фонда более интенсивно
–	–	–	–	Отвалы террасированные	То же	То же	То же	Внешние породные отвалы при транспортных системах разработки месторождений с крутым или наклонным падением угольных пластов, при необходимости складирования породы с малой устойчивостью к осыпанию, в условиях ограниченного пространства и нагорного рельефа	Влияние на естественные ландшафты то же. Земельный фонд расходуется более экономно. Значительное развитие эрозионных явлений и высокая пылимость

Продолжение табл. 1

Современный антропогенный рельеф								Факторы, определяющие возникновение рельефа	Степень воздействия на природный ландшафт
Денудационные формы				Аккумулятивные формы					
Элементы рельефа	Молодые	Зрелые	Старые	Элементы рельефа	Молодые	Зрелые	Старые		
–	–	–	–	Одиночные гребни	>>	>>	>>	Внешние породные отвалы при бестранспортной разработке узких мало- и среднемощных пластов с незначительной или средней мощностью толщи вскрышных пород	Расчленение рельефа и ухудшение гидрологического режима территории в радиусе, 25-кратном ширине выемки карьера. Уничтожение почвенного покрова и растительности
–	–	–	–	Навалы и насыпи, дамбы	>>	>>	>>	Образуются при строительстве коммуникаций, а также при защите карьерных выемок от затопления паводковыми и ливневыми водами	Застой поверхностных вод. Частичное заболачивание. Усложнение рельефа и возникновение затруднения при обработке с.-х. угодий
–	–	–	–	Навалы строительного мусора и развалины сооружений	Свежие	–	–	Образуются в результате бесхозяйственного использования территории земельного отвода строительными подразделениями	Нерациональное использование ценных угодий, захламление их. Создание препятствий для движения транспорта и с.-х. орудий. Отравление почв и растительности токсичными концентрациями промвыбросов (известь, нефтепродукты, солевые растворы)
–	–	–	–	Гидроотвалы	Обводненные	Первично зарастающие	Задернованные и облесенные	Представляют собой породные отвалы угольных карьеров, в которые порода подается средствами гидромеханизации. Занимают понижения рельефа	Резкое обводнение, повышение уровня грунтовых вод. Заболачивание. В случае наличия засоленных пород и грунтов – вторичное засоление
Траншеи	Свежие	Засыпанные или под водой	Задернованные	–	–	–	–	Разведочные работы. Дренажные устройства. Разработка площадных залежей поверхностного типа с малой мощностью вскрыши	Усложнение рельефа. Иссушение территории. Возникновение локальных сезонных водоемов. Уничтожение почв и растительности

Продолжение табл. 1

Современный антропогенный рельеф								Факторы, определяющие возникновение рельефа	Степень воздействия на природный ландшафт
Денудационные формы				Аккумулятивные формы					
Элементы рельефа	Молодые	Зрелые	Старые	Элементы рельефа	Молодые	Зрелые	Старые		
Карьерные выемки	Сухие	Обводненные	Задернованные и облесенные	–	–	–	–	Обширные выработанные пространства различного объема и углубленности, образующиеся при транспортных и бестранспортных системах разработки угольных месторождений с различной мощностью и крутизной падения пластов. Большая часть имеет вытянутую форму в направлении простирания рабочих пластов. Часть выемок террасирована. В некоторых выемках располагаются внутренние отвалы	Резкое нарушение геологического фундамента ландшафта. Усложнение и коренное изменение рельефа и реконструкции водного баланса территории, изменение уровня не только верховодки, но и глубоких горизонтов грунтовых вод. Полное уничтожение биогенных комплексов. Загрязнение атмосферы, вод и почвы продуктами выветривания глубинных пород
Дренажные канавы	Свежие работающие	–	Нефункционирующие задернованные	–	–	–	–	Необходимость устройства диктуется технологическими причинами (защита выемок от затопления и т. п.)	Усложнение рельефа Потеря части почвенного слоя. Возникновение очагов сорной растительности и водной эрозии
Струйчатые размывы	Свежие	–	–	–	–	–	–	Начальная стадия водноэрозионных процессов на бортах выемок и склонах отвалов, при отсутствии биологического закрепления последних	Смыв и разрушение аккумулятивных горизонтов почв, непроизводительный сток влаги в понижения рельефа
Размоины	Свежие	–	–	–	–	–	–	Развитие струйчатого размыва на тех же объектах	Смыв и разрушение иллювиальных горизонтов почв. Усложнение микрорельефа и иссушение территории
Вымоины	Свежие	–	Задернованные	–	–	–	–	Результат локального углубления и расширения размоин на пологих склонах	То же, но в большей степени проявления

окончание таблицы 1

Современный антропогенный рельеф								Факторы, определяющие возникновение рельефа	Степень воздействия на природный ландшафт
Денудационные формы				Аккумулятивные формы					
Элементы рельефа	Молодые	Зрелые	Старые	Элементы рельефа	Молодые	Зрелые	Старые		
Овраги	Свежие	В стадии первичного закрепления	Закрепленные задернованные	–	–	–	–	Возникают как результат неостанавливаемой струйчатой эрозии, слияния многих размоин и вымоин	Усложнение рельефа, расчленение и обезвоживание территории. Уничтожение почвенного и растительного покрова

г) усыхание окружающих денудационные формы неорельефа территорий и истощение запаса подземных (почвенно-грунтовых) и наземных вод;

д) загрязнение почв и природных вод продуктами выветривания глубинных пород и промышленными выбросами (соли, токсические химпродукты, сточные промышленно-технологические воды, бытовые отбросы и нечистоты);

е) загрязнение атмосферы пылью и газообразными промышленными выбросами (в том числе пожарными газами горящих отвалов и терриконов). Изменение альбедо ландшафта, его теплового баланса и изменение в связи с этим параметров мезо- и микроклиматов;

ж) развитие эрозийных процессов как в зоне формирования неорельефа, так и на периферийных территориях;

з) локальное заболачивание, вызываемое предупреждением естественного стока аккумулятивными формами неорельефа (отвалами, дамбами, плотинами, гидроотвалами и т. п.);

и) значительное ухудшение санитарно-гигиенических и эстетических условий жизни людей в зоне интенсивной трансформации природных и культурных ландшафтов в индустриальные пустыни.

Как видим, простое перечисление последствий изменения человеком в процессе горных работ по добыче полезных ископаемых и их первичной переработки первоначального рельефа представляет довольно грозный, звучащий как обвинительный акт, список.

Классификация промышленных отвалов

Промышленные отвалы – это антропогенные образования, представляющие собой искусственные насыпи из переотложенного материала, преимущественно вскрышных пород, образовавшихся при добыче полезных ископаемых или же из отходов (хвостов) предприятий перерабатывающей промышленности и других производств, в том числе из отходов, получаемых при сжигании топлива на тепловых электростанциях. В какой-то степени близки к промышленным отвалам все перекрытые и переотложенные грунты, образующиеся при

прокладке дорог и рытье каналов, а также отходы строительной и лесной промышленности.

Под отвалами заняты огромные площади ценных земель, которые находятся в непосредственной близости от населенных пунктов, а иногда в пределах городской черты. Не меньшую ценность представляют и площади, отводимые под отвалы вдали от населенных пунктов, но занятые лесами, лугами, пастбищами и пахотными угодьями.

Вред, наносимый промышленными отвалами:

– Сокращается площадь земельных угодий.

– Уничтожается почвенный покров и естественная растительность.

– Нарушается уровень грунтовых вод, загрязняются водоемы.

– Загрязняется воздушный бассейн.

– Усиливаются эрозионные процессы как на самих отвалах, так и на прилегающих к ним площадях с образованием селевых потоков при прорыве дамб шлаконаливных и шламовых полей.

– При зарастании отвалов продуцируются семена сорных растений.

– Нарушается эстетический вид пригородной зоны и мест отдыха населения.

– Стимулируются заболевания населения, особенно легочные.

– Снижается производительность труда рабочих на предприятиях, ухудшается качество изделий, быстрее изнашиваются трущиеся детали машин, усиливается коррозия металлов и т. п.

Мероприятия по устранению вредного влияния промышленных отвалов и более целесообразного их использования являются важной общегосударственной проблемой, в результате решения которой все нарушенные промышленностью земли должны быть возвращены народному хозяйству. Комплекс этих мероприятий можно объединить общим термином «рекультивация». Сюда входят все восстановительные работы по созданию культурного ландшафта на месте отвалов и карьеров с переводом нарушенных земель в категорию сельскохозяйственных и лесных угодий, зону отдыха и др.

Для осуществления этой проблемы могут быть намечены следующие пути: утилизация, реставрация и консервация отвалов.

Утилизация – это вторичное использование отходов промышленности. *Реставрация* – это комплекс мероприятий по восстановлению поверхности промышленных отвалов путем нанесения слоя подпочвы и почвы до 1 м толщиной и последующим использованием этой площади под земледелие. *Консервация* – это закрепление поверхности отвалов механическим путем (нанесение пленок, асфальтирование, покрытие щебенкой и др.) или же путем озеленения поверхности отвалов с предварительным нанесением минимального слоя почвы, торфа, минеральных удобрений, полива сточными водами и пр.

Промышленные отвалы многочисленны, поэтому возникает необходимость их подразделения. Каждая классификация обобщает явления по каким-то главным, типичным признакам. Если бы, предположим, требовалось создать классификацию отвалов с точки зрения использования их в строительстве, то необходимо было бы обратить основное внимание на их механический состав. Подобная классификация приняла бы крайне простой характер. Поскольку классификация должна служить целям рекультивации отвалов, то в первую очередь необходимо выделение таких признаков и подразделений, руководствуясь которыми, можно было бы уверенно намечать план исследований и сумму практических мероприятий для освоения данного типа отвалов.

Существуют две зарубежные классификации промышленных отвалов, и обе они принадлежат польским ученым. Первая составлена Е. Папшицким, который подразделил не только отвалы, но и сопутствующие им выемки, т. е. объединил два противоположных типа образований в рельефе – положительный и отрицательный (см. Paprzycki, 1956). Папшицкий несколько раз по отдельным признакам подразделяет все отвалы и таким же образом все выемки: в частности, по форме, активности, механическому составу, естественному зарастанию и происхождению.

ОТВАЛЫ И ВЫЕМКИ

(Классификация Папшицкого)

А. ***Отвалы***

По форме:

1) конусовидные и куполообразные;
2) столовые;
3) хребтовидные;
4) плоские.

По температурной активности:

1) активные (действующие);
2) горящие;
3) неактивные;
4) используемые неактивные отвалы.

По механическому составу:

1) пылевидные;
2) мелочь;
3) отвалы из гравия;
4) отвалы из щебенки;
5) цементированные (например, перегоревшие).

С точки зрения покрытия:

1) голые;
2) с редкой растительностью;
3) заросшие густой растительностью;
4) заросшие деревьями.

По происхождению:

1) угольные;
2) цинковые;
3) железорудные;
4) известняковые;
5) цинковые полуобогащенные;
6) из угольной пыли;
7) из угольного шлака;
8) из железистого шлака:
   а) доменных печей,

б) мартеновских печей;

9) из цинкового шлака;

10) из отходов химических заводов;

11) из осадков при очистке стоков;

12) смешанные отвалы из различных промышленных отходов (состав их зависит от вида продукции данного предприятия).

Б. ***Выемки***

1. *Каменные карьеры*:

а) известняковые,

б) песчаные.

По температурной активности: 1) активные, старые.

2. *Песчаные карьеры*:

а) сухие,

б) подмокшие,

в) залитые водой.

С точки зрения покрытия: 1) голые, 2) озелененные, 3) заросшие густой растительностью, 4) заросшие деревьями.

3. *Глиняные карьеры*.

4. *Провалы* в местах оседания местности над шахтными выработками:

а) сухие,

б) подмокшие.

5. *Территория оставленных шурфов* – наследие в виде заброшенных шахт, воронок и углублений с остатками пустых пород и пыли.

6. *Терриконы* – места открытой добычи серебра, свинца и цинка в виде выемок и насыпей (пустые породы).

7. *Территория после открытой добычи*:

а) железных руд,

б) угля.

Классификация Папшицкого представляет несомненный интерес как первая попытка внести логический порядок в эти многочисленные антропогенные образования, но в целом она носит несколько механический характер и рассчитана больше на каменноугольные отвалы.

На Первом Международном симпозиуме по рекультивации в Лейпциге

(ГДР, 1962) польскими учеными С. Адамовичем, Л. Боярским, И. Грештой и др. (Adamowicz, Bojarski, Greszta и др., 1963) была предложена новая генетическая классификация, основанная на главном и единственном признаке – происхождении отвалов.

1. Отвалы каменные или земельные **из отходов подземной выработки**:
   а) каменного угля,
   б) свинцово-цинковых руд,
   в) железных руд,
   г) прочих полезных ископаемых.
2. Отвалы **из промышленных отходов**:
   а) черной металлургии,
   б) заводских и постфлотационных (цинковых и прочих цветных металлов),
   в) химического производства,
   г) шлаковые и зольные,
   д) прочие отходы и комплексные отвалы различного происхождения.
3. Земельные, наружные и внутренние отвалы, возникшие **при открытой добыче**:
   а) каменного угля,
   б) бурого угля,
   в) серы,
   г) прочих ископаемых.
4. Глиняные или каменные выработки, возникшие **после открытой добычи**:
   а) песка,
   б) каменного угля,
   в) бурого угля,
   г) глины, гравия,
   д) извести,
   е) прочих месторождений.
5. **Горнопромышленные отвалы**.
6. **Комплексно-поврежденные территории** (различные выработки, провалы, отвалы, территории бывших шахт и т.п.).
7. Местности, расположенные в полосе **максимально катастрофического загрязнения** промышленными выделениями.

В рассмотренных классификациях отсутствуют весьма важные признаки, без знания которых трудно осуществить рекультивацию отвалов: возраст, физическое строение (механический состав), химический состав отвалов и возможность их использования.

Польскими учеными не была принята во внимание классификация каменноугольных отвалов Англии, составленная И. Холлом (см. Hall, 1957), в которой приводится ряд интересных положений. Холл отмечает изменение pH отвалов и характер естественного зарастания в связи с возрастом отвалов. Благодаря такой постановке вопроса, ему удалось убедительно показать характер изменений отвалов и процессов зарастания их в связи с возрастом.

Как видно из сказанного, отвалы могут быть весьма разнородными и трудно привести простой перечень их, так как для этого пришлось бы назвать все месторождения полезных ископаемых и все типы заводов перерабатывающей промышленности, все обогатительные фабрики, а также предприятия, дающие те или иные отходы, и кроме того, принять во внимание различные типы строительного и заводского мусора.

В природно-генетической классификации почв Польши, разработанной польским обществом почвоведов, отвалы определены как почвы, уничтоженные горнопромышленной и промышленной эксплуатацией, а также строительством и отнесены к типу почв «начальной стадии развития» (Adamowicz и др., 1963).

Несмотря на то, что отвалы разнообразны по форме, по физическим и химическим особенностям, зависят от специфики и уровня производства, можно установить некоторые общие черты и закономерности, позволяющие расчленить отвалы на определенные группы (см.: Тарчевский, 1970).

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТВАЛОВ

(по В. В. Тарчевскому)

А. **По происхождению**

1. *Отвалы добывающей промышленности* (при добыче каменного угля, железа, цветных металлов и разработке нерудных месторождений):

а) внешние и внутренние отвалы открытых разработок;

б) породные отвалы при подземной разработке (терриконы);

в) отвалы из перемещенных грунтов (при дражном способе добычи золота).

2. *Отвалы перерабатывающей промышленности*:

а) насыпные (шлаки, отходы заводского происхождения);

б) наливные (шламовые поля, золоотвалы и др.);

в) кладбища (захоронения в контейнерах и др.).

3. *Прочие отвалы из*:

а) остатков основного сырья;

б) строительных остатков;

в) заводского мусора.

Б. **По возрасту**

1. Свежие (до 5 лет).

2. Молодые (до 15 лет).

3. Средневозрастные (до 40–50 лет).

4. Старые (более 40–50 лет).

В. **По форме**

1. Поля нарушений с разнообразным мезо- и микрорельефом.

2. Длинновытянутые гребни, гривы.

3. Одиночные конусы, бугры.

4. Чашевидные (хвостохранилища, шламовые и шлаконаливные поля).

5. Неопределенные.

Г. **По высоте**

1. Низкие (до 5 м).

2. Средние (до 25 м).

3. Высокие (до 50 м).

4. Очень высокие (свыше 50 м).

Д. **По механическому составу поверхностного субстрата**

1. Пылевидные (частицы < 0,01 мм).

2. Крупнопылевидные и пески (частицы до 0,1 мм).

3. Гравийные (частицы до 1 см).

4. Щебенчатые (частицы до 5 см).

5. Крупномерные (камни и глыбы свыше 5 см).

Е. **По кислотности (pH)**

1. Кислые.
2. Нейтральные.
3. Щелочные.

Ж. **По утилизации**

1. Идущие на вторичную переработку.
2. Употребляемые в строительстве.
3. Пригодные в качестве удобрений.
4. Применяемые для дорожного покрытия.
5. Неиспользуемые.

За основу классификации берется происхождение отвалов, тогда как все остальные принципы деления носят пояснительный характер и должны применяться для характеристики всех типов отвалов.

В представленных классификациях основными были внешние признаки отвалов. Б. П. Колесников считал, что при существенной общности признаков и свойств отвалов, позволяющих относить их к специфичным и оригинальным формам неорельефа техногенных ландшафтов, одновременно они достаточно индивидуальны и могут объединяться в соподчиненные типы и группы по другим признакам (см. об этом: Колесников, Пикалова, 1974). При построении таких классификаций отвалов решающее значение следует придавать показателям, характеризующим возможные направления и ход почвообразовательного процесса и влияющих на выбор способа биологической рекультивации и подготовительных горнотехнических мероприятий, ускоряющих и интенсифицирующих этот процесс.

Авторами различаются две крупные категории промышленных отвалов (семейства), принципиально отличные по происхождению, составу и свойствам слагающих их субстратов.

А. ***Отвалы, сложенные минеральными грунтами (субстратами)***

Лишены органического вещества, а следовательно, и азота или крайне бедны ими. Органическая жизнь на отвалах этого семейства возникает в основном от диаспор организмов, заносимых извне с соседних местообитаний. Фак-

торы, лимитирующие показатели биологической продуктивности таких отвалов, – недостаток органики (а также азота) в усвояемой растениями форме и иногда также других основных элементов питания (фосфор, калий). Для грунтов отвалов, сложенных углистыми сланцами, аргиллитами и подобными им осадочными породами, агрохимические анализы нередко показывают значительное содержание органического вещества и общего азота, обусловленное включениями в породу ископаемых остатков органической жизни прошлых геологических эпох. Такое органическое вещество повышает потенциальное плодородие грунтов отвала, но мобилизуется современной растительностью не сразу, постепенно, медленно (см.: Таранов, 1970).

Б. ***Отвалы, сложенные субстратами, насыщенными органическим веществом, или даже нацело образованные последним – торф, опилки и т. п.)***

Азота в субстратах много или избыточно. На таких отвалах органическая жизнь вообще может возникнуть автохтонно, при участии организмов и их диаспор, поступивших на отвал непосредственно с субстратом. Лимитирующие факторы – избыток органики (иногда и азота), нередко на фоне недостатка минеральных солей.

Отвалы семейства А образуются в результате производственной деятельности горнодобывающей (уголь, сланцы, алмазы, железо, бокситы, руды цветных и редких металлов и т. д.) и рудоперерабатывающей (черная и цветная металлургия) промышленности, промышленности строительных материалов (камень, щебень, песок, глина, цемент, асбест, тальк, известняки, мрамор, облицовочный камень и т. п.), теплоэнергетики (зола); семейства Б – в результате производств, добывающих и перерабатывающих органическое сырье (торф, деревообработка, целлюлозно-бумажная и лесохимическая, легкая и пищевая промышленность). К ним можно причислить также отвалы, образованные твердыми отходами коммунального хозяйства и городским строительным мусором.

В качестве примера ими была предложена схема классификации, изображенная на рисунке 1, для отвалов семейства А, образованных минеральными

грунтами (см.: Колесников, Пикалова, 1974). Промышленные отвалы семейства А по происхождению, морфометрии, особенностям субстратов являются специфическими техногенными образованиями, не имеют прямых аналогов среди природных форм поверхности Земли.

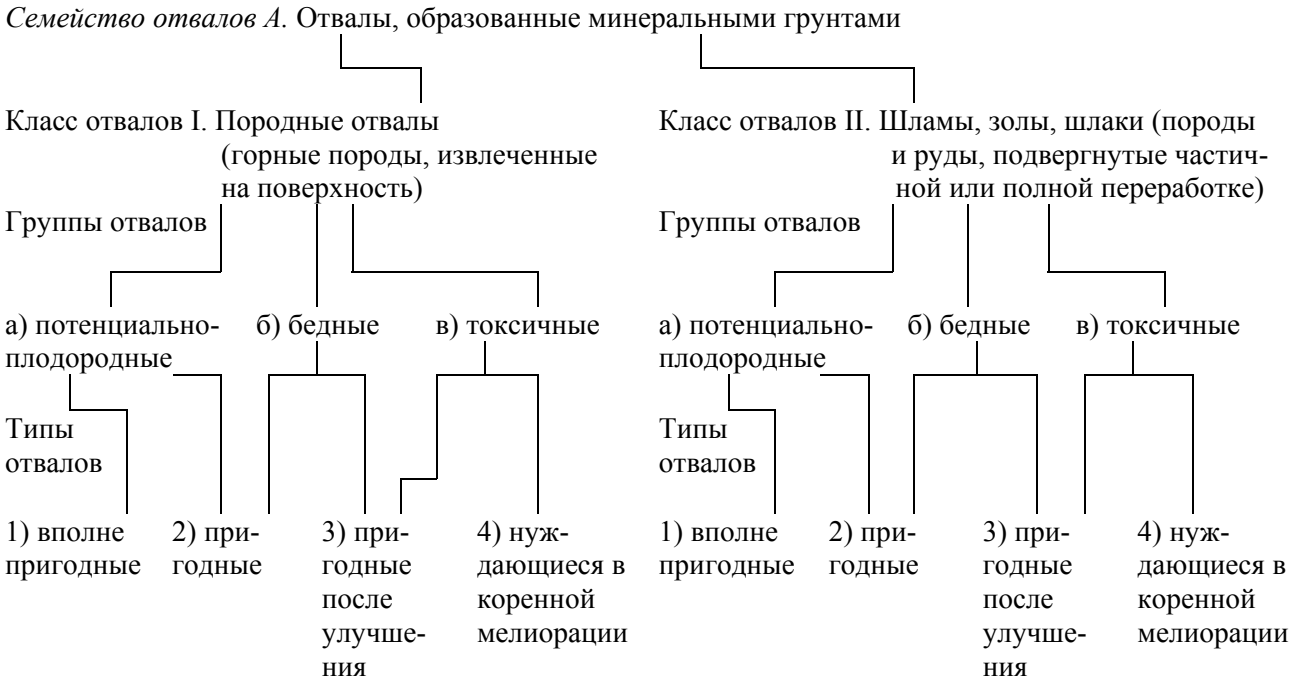

Рис. 1. Схема классификации отвалов
по Б. П. Колесникову, Г. М. Пикаловой (1974)

Отвалы разделены на два класса. За дифференцирующий признак взята степень изменения горной породы до складирования ее в отвал. *Класс I* образуют *породные отвалы*, которые образованы грунтами, не подвергавшимися дополнительной переработке. Это горные породы, извлеченные на поверхность, перемещенные и отложенные в отвал. Такие отвалы образуются предприятиями, преимущественно занятыми добычей полезных ископаемых. На предприятиях перерабатывающей промышленности породы подвергаются измельчению, сепарации, химической или термической обработке и в виде зол, шламов, «хвостов» перемещаются в отвалы. Для транспортировки их часто используется вода – гидравлический способ. Такие отвалы образуют *класс II – золоотвалы* тепловых электростанций, *шламо- и шлакоприемники*, *хвостохранилища*, *гидроотвалы* углеобогатительных фабрик и др. Эти отвалы сложены в большинст-

ве случаев достаточно однородными по физическому составу измельченными субстратами, характеризуются ровной поверхностью с легкими волнистыми повышениями и понижениями нано- и микрорельефа. В отличие от них, породные отвалы обычно имеют резко выраженный микро- и мезорельеф, ярусное строение, неоднородный агрегатный состав поверхности грунтов.

Группы отвалов в обеих классах выделяются по агрохимическим характеристикам их грунтов-субстратов:

а) потенциально плодородные отвалы, характеризующиеся нормальным содержанием основных элементов питания и нормальной кислотностью;

б) бедные, с недостаточным содержанием минеральных солей, но с нормальной кислотностью;

в) токсичные отвалы, для которых характерны избыточное содержание тех или иных элементов и солей, чрезмерная кислотность или щелочность.

Дальнейшее подразделение в каждой группе идет на *типы отвалов* с использованием водно-физических характеристик грунтов-субстратов. Выделяются следующие их типы:

1) вполне пригодные для биологической рекультивации и самозарастания;

2) пригодные;

3) пригодные после улучшения;

4) непригодные, нуждающиеся в сложных мелиоративных мероприятиях.

Состав и свойства вскрышных пород и их классификация

В таблице 2 приведены основные признаки, характеризующие пригодность пород вскрыши карьеров для биологической рекультивации (см.: Горбунов, 1970). Грунты и субстраты промышленных отвалов своеобразны по составу и свойствам, поэтому также возникает необходимость их классификации по пригодности для рекультивационных целей. Н. И. Горбуновым разработан комплексный метод химико-минералогической оценки пригодности вскрышных пород для биологической рекультивации.

В таблице 2 приведены не все показатели, характеризующие пригодность пород. Например, не указаны водно-физические и климатические константы. Естественно, что для оценки рекультивационной пригодности пород вскрыши целесообразнее пользоваться совокупностью признаков, но иногда достаточно одного-двух. Например, присутствие значительных количеств пирита обусловливает сильно кислую реакцию среды, что является вполне достаточным критерием для отнесения породы к категории непригодной или нуждающейся в коренном улучшении.

В основу ГОСТа по классификации вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель (ГОСТ 17.5.1.03-86), непригодность пород определяется по химическим свойствам – сильная кислотность и щелочность, высокое засоление – и физическим свойствам – сильная каменистость.

С частичным использованием комплекса признаков, предложенных Н. И. Горбуновым, разработана схема классификации вскрышных пород Подмосковного угольного бассейна (табл. 3; см.: Савич, 1974). По этой классификации все вскрышные породы разделены на три группы: пригодные, малопригодные и непригодные.

Таблица 2

Признаки пригодности пород вскрыши промышленных карьеров для биологической рекультивации

Категория пригодности	Минералы	Растворимые соли хлориды, %	pH водный	Подвижный алюминий, мг/100 г	Na, % емкости поглощения	Фракции < 0,001 мм, %	Фракции < 0,01 мм, %	Набухание, %	Оглеенность	Гумус, %
Вполне пригодные	Смесь гидрослюд монтмориллонита, вермикулита, хлорита, каолинита, кварца или смешаннослойных образований	0,1–0,3	5,5–8,3	0–2	0–10	10–20	20–45	10–15	Нет	> 1
Пригодные	То же	0,3–0,5	4,5–8,3	2–4	0–10	10–20	20–45	10–15	Слабая	< 1
Пригодные после небольшого улучшения	Значительное преобладание одного из минералов: монтмориллонита, кальцита, кварца, каолинита, гипса	0,5–0,7	3,4–4,5; 8,3–9	5–10	10–25	0–5; 30–40	0–10; 45–75	5; 15–18	Средняя	< 1
Непригодные или нуждаются в коренном улучшении	Пирит, гетит, гибсит, галит	> 0,7–1	< 3,4; > 9	> 15	> 25	> 40	> 75	> 20	Сильная	< 1

Таблица 3

Схема классификации пород вскрыши Подмосковного угольного бассейна
по их пригодности для биологической рекультивации (см. А. И. Савич, 1974)

Группа пригодности	Наименование почв и горных пород	Признаки пригодности пород							
		Сухой остаток, %	pH водный	Подвижный Al, мг/100 г.	Na, % от емкости поглощения	Фракция, %		Гумус, %	Способ использования для биологической рекультивации
						< 0,001 мм	< 0,01 мм		
I. Пригодные									
а) плодородные	Гумусированный слой почвы	0,1–0,5	5,5–8,3	0–4	0–10	10–20	20–45	> 2	При вскрышных работах складируется и используется для создания пашни
б) потенциально плодородные	Почвообразующие и другие породы благоприятного механического и минералогического состава	0,1–0,5	5,5–8,3	0–4	0–10	10–20	20–45	< 2	Пригодны как подстилающие при создании пашни. Могут непосредственно использоваться при лесной рекультивации. После улучшения и прохождения стадии мелиоративной подготовки могут быть использованы под пашню
II. Малопригодные									
а) по физическим свойствам	Песчаные и глинистые породы	0,1–0,5	5,5–8,3	0–4	0–10	0–10 30–40	0–20 45–75	Нет	Необходимо глинование или пескование. При создании пашни перекрывают пригодными породами. Могут использоваться под лесопосадки при проведении необходимых мер по их улучшению

окончание таблицы 3

Группа пригодности	Наименование почв и горных пород	Признаки пригодности пород							
		Сухой остаток, %	pH водный	Подвижный Al, мг/100 г.	Na, % от емкости поглощения	Фракция, %		Гумус, %	Способ использования для биологической рекультивации
						< 0,001 мм	< 0,01 мм		
б) по химическим свойствам	Кислые, среднезасоленые и солонцеватые почвы и породы	0,5–0,7	3,5–9,0	0–15	0–25	10–20	20–45	< 2	Необходимо известкование, гипсование, проведение промывок. После проведения мелиорации при создании пашни следует перекрыть гумусированным слоем почвы. Используется под лесопосадки при проведении необходимых мер по их улучшению
III. Непригодные									
а) по физическим свойствам	Тяжелые глины, скальные породы, конгломераты		Коэффициент крепости по М.М. Протодьяконову > 3–4.				< 75	Нет	Перекрываются пригодными грунтами слоем не менее 2 м
б) по химическим свойствам	Сульфидсодержащие и сильнозасоленные породы, солонцы	> 0,7	< 3,5 > 9,0	< 15	> 25	Различного механического состава		Нет	При отвалообразовании укладывают в основание отвалов. Должны быть изолированы при создании пашни и посадке леса слоем пригодных пород мощностью не менее 2 м. При невозможности этого проводится химическая мелиорация (промывка, известкование высокими дозами, гипсование и т. д.), после чего используются как и в пункте IIб

Группа пригодных пород разделена на две подгруппы: плодородных и потенциально плодородных пород с их характеристиками, из которых вытекает и наиболее рациональный способ их использования при биологической рекультивации.

Малопригодные (группа II) и непригодные (группа III) породы разделены на неблагоприятные по физическим и химическим свойствам. В практике возможны случаи, когда породы могут быть неблагоприятными как по физическим, так и по химическим свойствам. Однако такое случается довольно редко. Чаще преобладает одно из нескольких неблагоприятных свойств, которое лимитирует возможность выращивания на определенной породе или смеси пород растений и предопределяет возможность использования породы для биологической рекультивации.

Лекция 2

ТЕХНОЛОГИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Основные типы нарушенных промышленностью земель на Урале. Этапы рекультивации земель, нарушенных открытыми горными разработками. Элементы техногенного ландшафта горнорудных районов. Принципы и методы создания искусственного растительного покрова на нарушенных промышленностью землях. Мероприятия биологического этапа рекультивации. Рекультивация хвостохранилищ. Рекультивация карьеров. Характеристика вскрышных пород Коркинского угольного разреза, их агрохимическая характеристика и классификация по пригодности для биологической рекультивации. Рекультивация зон обрушений и провалов.

Основные типы нарушенных промышленностью земель на Урале:

1. Нарушенные земли горнодобывающей промышленности:

– промышленные отвалы, образованные при добыче железной руды;

– промышленные отвалы, образованные при добыче медной руды;

– промышленные отвалы, образованные при добыче угля;

– глубокий (до 500 м) угольный разрез.

2. Нарушенные земли предприятий перерабатывающей промышленности:

– золоотвалы (шлакоотвалы) тепловых электростанций, работающих на высокозольных углях;

– шламохранилища (хвостохранилища) после обогащения железной руды и руд цветных металлов;

– отвалы отходов литейного производства.

Л. В. Моторина, В. А. Овчинников, основываясь на отечественном и зарубежном опыте рекультивации приводят следующее ее определение: «Рекультивация земель – это комплекс различных работ (инженерных, горнотехнических, мелиоративных, сельскохозяйственных, лесохозяйственных и др.), направленных на восстановление продуктивности нарушенных промышленностью территорий и возвращение их в разные виды использования» (Моторина, Овчинников, 1975).

Рекультивация проводится в 3 этапа на территориях, нарушенных открытыми горными работами:

Этап I – подготовительный. Обследование и типизация нарушенных территорий, изучение специфики условий, определение направления рекультивации.

Этап II – горнотехнический. Рациональное формирование поверхности отвалов и карьеров.

Этап III – биологическая рекультивация. Сюда входит окончательное восстановление плодородия и биологической продуктивности нарушенных земель, создание сельскохозяйственных и лесохозяйственных угодий, разведение рыбы в водоемах, дичи в созданных лесах, т. е., иными словами, создание культурфитоценозов различного назначения.

Особую ценность имеют работы по биологической рекультивации в тех случаях, когда нарушенными оказываются бывшие сельскохозяйственные угодья.

Наметившиеся тенденции к сокращению площади пашни, приходящейся на душу населения при одновременном увеличении его численности, ставит проблему сохранения и восстановления земель для сельскохозяйственных нужд в число первоочередных.

Идет постоянное сокращение площади пашни. На Украине в период 1953–1979 гг. площадь пашни на душу населения сократилась с 0,91 до 0,70 га, в степных районах она равна 0,18–0,34 га. В Свердловской области на душу населения приходится всего 0,35 га при ежегодном отводе более 1000 га сельскохозяйственных угодий для несельскохозяйственных нужд, в том числе под отвалы различных отраслей промышленности.

Предприятия различных отраслей промышленности оказывают сильное и оазнообразное нарушеющее воздействие на природную среду. Структура основных форм нарушений на предприятиях черной металлургии приведена в таблице 4.

В интенсивно освоенных горнорудных районах создаются техногенные ландшафты (см. рис. 2).

Объектами рекультивации являются различные типы нарушенных промышленностью земель:

– отвалы породные, некондиционного сырья, отходов обогащения;

– карьеры, в том числе с внутренними отвалами вскрышных пород;

– хвосто- и шламохранилища, в том числе золоотвалы тепловых электростанций;

– зоны деформации от подземных работ, в том числе провалы;

– линейные сооружения и т. д.

Таблица 4

Структура основных форм нарушений на предприятиях черной металлургии (Чайкина, Объедкова, 2003)

Добываемое сырье	Нарушено, %			
	открытыми работами	подземными работами	хвостохранилищами	другими объектами
Черная маталлургия	63,4	4,6	27,0	5,0
В том числе при добыче руды				
железной	59,4	6,5	28,0	6,1
марганцевой	67,0	0,2	22,2	10,6
хромитовой	95,2	0,4	4,3	0,1
нерудного сырья	88,2	7,2	3,5	1,1

Рис. 2. Схема элементов техногенного ландшафта горнорудных районов (Чайкина, Объедкова, 2003)

Принципы и методы создания искусственного растительного покрова на нарушенных промышленностью землях

Подбор ассортимента. Далеко не все виды высших растений могут нормально расти и развиваться в условиях специфической среды субстратов промышленных отвалов. Так, для установления ассортимента видов, пригодных

для фитомелиорации золоотвалов, было испытано более 230 видов, а засоленных красных шламов – 160 видов, из которых признано пригодными для указанной цели соответственно 30 и 8. На золоотвале Рефтинсой ГРЭС испытано 35 видов деревьев и кустарников, признано пригодными значительно меньше (Махнев, Внуков, 1997; Внуков, 1999).

Столь же специфичны по экологическим условиям и отвалы, возникающие при открытой добыче полезных ископаемых. Для условий Кузбасса, например, из 34 видов деревьев и кустарников, высаженных на отвалах, сложенных аргиллитами, алевролитами и песчаниками, оказались безусловно пригодными лишь 8 видов (Баранник, 1988).

Для облесения отвалов целесообразно использовать олиготрофные виды, т. е. виды малотребовательные к плодородию почвы (например, сосна обыкновенная, береза бородавчатая и др.). Наличие симбиотических отношений между древесными растениями (сосна, лиственница, березы) и микоризообразующими грибами или между бобовыми травянистыми видами (клевером, люцерной, донником и др.) и клубеньковыми бактериями способствует улучшению роста растений в неблагоприятных условиях среды.

Олиготрофность видов, а также их засухоустойчивость и солеустойчивость являются важными характеристиками при выборе ассортимента видов как для лесной, так и для сельскохозяйственной рекультивации.

Надо учитывать и дополнительный экологический фактор – такой, как загрязнение атмосферы промышленными выбросами. У растений отсутствуют какие-либо специальные механизмы приспособления к таким факторам среды, они эволюционно не выработаны, так как бурный рост видов загрязнения и их интенсивности наблюдается во второй половине XX в.

Как правило, растения, устойчивые к действию одного загрязнителя, поражаются другими ингредиентами промышленных выбросов. Отсутствие растений, комплексно устойчивых к загрязненной атмосфере, заставляет индивидуально подходить к подбору ассортимента видов для данных условий. Наибольший эффект биологической рекультивации может быть получен при ис-

пользовании видов широкой экологической амплитуды, способных в короткий срок сформировать высокопродуктивное растительное сообщество.

Мероприятия биологического этапа рекультивации

Помимо разработки биологических аспектов проблемы, возникает необходимость решения вопросов, относящихся к области опытно-агрономических исследований (норма высева – 2–4-кратная, смешанные или одновидовые посевы, способы посевов и посадок, гидропосев и т. д.).

Гидропосев имеет определенные преимущества перед обычным способом посева, особенно при укреплении отвалов и бортов карьеров от водной и ветровой эрозии, где возможности механизации работ ограничены или очень трудоемки.

Сельскохозяйственные угодья на отвалах могут создаваться двумя способами:

– на грунтах (субстратах), свойства которых улучшаются путем покрытия их гумусированным слоем почв;

– непосредственно на грунтах, складированных в отвалы.

Грунты (субстраты) отвалов в своем большинстве малопригодны для роста и развития растений, т. е. грунты и субстраты отвалов не обладают основным свойством почв – эффективным плодородием.

В. В. Докучаев писал, что следует разуметь под почвой исключительно только те дневные и близкие к ним горизонты горных пород, все равно каких, которые были более или менее естественно изменены взаимным влиянием воды, воздуха и различного вида организмов – живых и мертвых. Где этого условия нет, там нет и естественных почв, а есть или искусственная смесь, или чисто горная порода.

Одним из наиболее распространенных способов улучшения грунтов (субстратов) для сельскохозяйственного освоения является так называемое «землевание», т. е. нанесение на поверхность отвалов гумусированного слоя почвы или пригодных для выращивания растений грунтов разной мощности. Ряд ис-

следователей считают, что этот слой должен быть 0,5–1,0 м, по мнению других – 1,5–2,0 м. Можно представить, во сколько раз подорожает горнотехнический этап рекультивации. Да и не везде можно найти такое количество плодородной почвы для нанесения. В частности на Урале, где широкое распространение имеют маломощные сильно каменистые почвы, на большинстве промышленных предприятий как горнодобывающей, так и перерабатывающей промышленности нет запаса почвы или потенциально плодородных пород для «землевания». К тому же в нашем регионе промышленное производство развивается интенсивно с начала XX в., а необходимость снятия, хранения и использования при биологической рекультивации почвы и потенциально плодородных пород законодательно установлена лишь в 1968 г. в связи с принятием Закона об основах земельного законодательства СССР и союзных республик. Эксперименты доказали, что во многих случаях бывает достаточно 35–40 см. Но и при таком слое затраты значительны.

При токсичных породах (например, сульфидсодержащих) землевания бывает недостаточно. Требуется экранировать эти грунты глинистыми породами слоем 15–20 см для создания водоупора, чтобы токсичные вещества не поступали в плодородный слой. Эта мощность в условиях промывного типа водного режима достаточна, в условиях выпотного необходимо ее увеличение. Дефицит почвы заставляет искать выходы для минимального «землевания». Опытные работы проводились по испытанию слоя мощностью от 1–2 до 20–30 см.

Если подобрать соответствующий ассортимент культур и применить технологию внесения трех норм NPK или микробиологического препарата (технология ВНИИОСуголь МУП СССР, г. Пермь), можно добиться хороших результатов без землевания или с минимальным землеванием.

Например, ВНИИОСуголь в Кизеловском угольном бассейне в 1970-х гг. разработал и внедрил технологию ускоренной биологической рекультивации (Красавин, Хорошавин, Катаева, 1982; 1985; 1988), которая предусматривала:

1) нанесение на поверхность отвалов обезвреженных бытовых осадков с иловых площадок городских очистных сооружений – бытовой осадок содержит

биогенные элементы (азот, фосфор, калий), необходимые для стартового развития микрофлоры, которая, в результате своей жизнедеятельности, оказывает стимулирующее влияние на рост и развитие высших растений;

2) внесение гуминового препарата, полученного на основе использования угольных отходов и культуры микроскопических организмов;

3) посев смеси многолетних трав: костреца безостого, донников – белого и желтого.

Выбор указанных растений обусловлен следующими факторами. Кострец характеризуется высокой биоэкологической устойчивостью, обладает мощной корневой системой, хорошо задерживает влагу и устойчив к вымерзанию; донник выбран как растение, способствующее накоплению азота в почвогрунтах.

В отвальный грунт вносятся микроорганизмы, которые участвуют в процессах превращения азота и фосфора, т. е. переводят азот и фосфор из труднодоступных в доступные для растений формы, а также способствуют разрушению минералов и тем самым почвообразовательному процессу. В период всходов и кущения рекультивируемые участки инокулируются комплексом микроорганизмов, которые образуют и выделяют различные органические вещества, аминокислоты и витамины, крайне необходимые растениям в период всходов и кущения. Эта ускоренная рекультивация дала положительный результат: pH среды возрос с 2–3 до 7, вес сырой биомассы на опытных участках с инокулятом составил 195,4 ц/га. Широкое внедрение в практику данного способа позволит повысить плодородие отвальной породы, в более короткие сроки создать на шахтных отвалах устойчивые биогеоценозы без нанесения плодородного слоя почвы.

Многолетние травянистые растения должны возделываться с первых лет после окончания формирования поверхности отвалов. Это доказано работами немецких, чешских и других исследователей. Вместе с формированием значительной фитомассы, подземная часть которой обогащает грунты перегноем, многолетние травы препятствуют эрозии грунтов. Это важное свойство позво-

ляет использовать многолетние травы и при создании растительного покрова на откосах бортов карьеров.

Рекультивация хвостохранилищ (Чайкина, Объедкова, 2003)

Субстрат хвостохранилищ – отходы обогащения железной руды и руд цветных металлов очень разнообразны по химическому составу и физическим свойствам. Этим определяется степень их пригодности для биологической рекультивации и способы рекультивации. Отходы, складированные в хвостохранилища предприятий цветной металлургии, часто содержат токсические соединения. В этом случае необходимы сложные технические приемы подготовки поверхности для рекультивации.

Технология формирования рекультивационного слоя зависит от степени токсичности отходов (рис. 3):

а) для нетоксичных отходов;

б) для малотоксичных;

в) для токсичных;

г) для высокотоксичных.

Биологический этап рекультивации – посев многолетних трав подобранного ассортимента. Деревья и кустарники рекомендуются для закрепления окружающей плотины (берма, гребень плотины). На хвостохранилищах с нетоксичными отходами обогащения технология рекультивации может быть несколько упрощена: есть указание на возможность посева многолетних (преимущественно бобовых) трав без нанесения плодородного слоя. Но необходим полив и внесение минеральных удобрений. Для улучшения влагообеспечения в корнеобитаемом слое часто используются полимерные композиции.

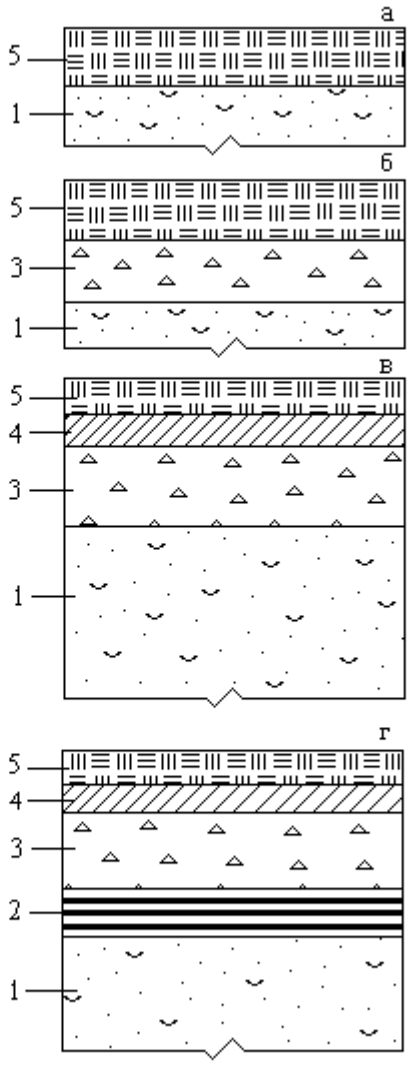

Рис. 3. Структура рекультивационного слоя:
Типы: а – первый, б – второй, в – третий, г – четвертый; 1 – хвостовые отложения; 2 – водоупорный слой; 3 – капилляропрерывающий слой; 4 – противофильтрационный экран; 5 – плодородный грунт

Рекультивация карьеров (Чайкина, Объедкова, 2003)

Эти нарушения различаются по морфометрическим параметрам, преобладающему рельефу и направлениям возможного использования после рекультивации.

Карьеры сопутствуют открытому, а зоны обрушений и провалы подземному способу разработки.

Классификацию карьеров осуществляют по их глубине:

малой глубины – 30–50 м,

средней глубины – 50–100 м,

глубокие – более 100 м,

сверх глубокие – более 300 м.

Карьеры малой глубины образуются при разработке залежей пологого и горизонтального залегания. В них перспективно образование водоемов рыбоводческого назначения с созданием сенокосов на выположенных уступах, а на откосах – задернованных участков природоохранного назначения, зон отдыха и спорта.

Глубокие и сверхглубокие карьеры образуются при разработке месторождений наклонного и крутого падения пластов полезного ископаемого с вывозкой пород вскрыши во внешние отвалы. Подобные выемки возможно использовать в нескольких направлениях:

– в качестве водоемов многоцелевого назначения – в обводненных карьерах;

– как площадки для строительства и размещения отходов производства – в сухих карьерах.

Биологической рекультивации в карьерных выемках могут подвергаться откосы и бермы с созданием на них задернованных участков и (или) лесонасаждений.

Водохозяйственное направление рекультивации карьеров должно рассматриваться как элемент ландшафтной структуры района. В этом случае должна быть решена задача устойчивости бортов карьера, затопляемого водой, в отдельных случаях возможно взрывным способом. Вторая задача – создание донного и бортовых гидроизоляционных экранов для «удержания» воды в карьере и предотвращения возможного загрязнения подземных вод по технологии, введенной в нормативные документы.

При рекультивации сухих карьеров, независимо от их глубины, практикуется заполнение карьеров породами вскрыши или отходами обогащения (производства) до уровня дневной поверхности с последующей сельскохозяйственной или лесохозяйственной рекультивацией по особому проекту. Возможно ис-

пользование созданной поверхности для гражданского или промышленного строительства.

При разработке принципов и способов рекультивации необходим индивидуальный подход и учет конкретных условий на предварительном этапе. Особенно это касается глубоких и сверхглубоких карьеров. Рекультивация глубоких и сверхглубоких карьеров представляет существенные дополнительные трудности. В связи с этим необходимо проводить исследования по разработке направлений и способов их рекультивации. В качестве примера приводятся результаты проведенных исследований в Коркинском угольном разрезе по разработке способов биологической рекультивации в режиме сухой консервации. Проведено подробное исследование пород разреза с классификацией их по пригодности для биологической рекультивации, определены возможные способы улучшения их свойств, опытным путем подобран ассортимент деревьев, кустарников и многолетних трав пригодных для этих целей.

Характеристика вскрышных пород Коркинского угольного разреза и их классификация по пригодности для биологической рекультивации

Общая характеристика и геологическое строение. Коркинский угольный разрез – один из наиболее крупных и глубоких разрезов на территории бывшего СССР. Площадь его свыше 800 га, форма округлая, слегка вытянутая в широтном направлении, глубина его около 500 м. Углы наклона бортов достигают 10–25°, высота рабочих уступов 10–15 м. Отработка производится экскаватором с предварительным рыхлением пород взрывами. Вскрышные породы вывозятся на внешние отвалы, расположенные в 3 км к северо-западу от разреза. Углеразрез имеет огромное отвальное хозяйство, большое количество терриконов шахт и зон обрушения, нередко заполненных поверхностными водами. Коркинские отвалы вместе с карьерами и терриконами занимают 6700 га из 10 200 га всей территории г. Коркино. Естественно, что столь обширная зона нарушения характеризуется специфическими условиями, особенно внутрикарьерное пространство. Углеразрез в верхней части мало обводнен, обильные выходы грун-

товых вод в пределах верхних 100 м единичны. На юго-западном борту встречаются переувлажненные заболоченные участки. Происхождение их связано не только с задержкой на водоупорном ложе углублений атмосферных осадков, талых вод, но, по всей вероятности, и с выходом грунтовых вод. Значительные площади бортов разреза с поселившейся на них растительностью питаются лишь атмосферными осадками. Объем внутрикарьерного пространства составляет около 1 млрд $м^3$. Затопление разреза невозможно по ряду причин: отсутствие источников затопления, неустойчивость бортов, необходимость изоляции от проникновения воды в шахту с изменением водонапора при столбе воды в несколько сотен метров и пр. Наиболее приемлемым видом его рекультивации является сухая консервация. Однако ни у нас, ни за рубежом нет опыта ее осуществления на сверхглубоких карьерах типа Коркинского.

Проведение рекультивационных мероприятий, как показало рекогносцировочное обследование, является совершенно необходимым в целях улучшения техники безопасности. Борта разреза сложены рыхлыми или слабыми по цементации, легко выветривающимися породами. Склоны и бермы верхних и средних давно вскрытых уступов подвержены сильнейшей водной и ветровой эрозии. Практически вымывается весь рыхлый материал. Вскрытые обломки твердых пород подвергаются быстрому выветриванию и интенсивно поставляют эрозионно-подвижный материал. Поэтому эрозионные нарушения с оползневыми явлениями могут создавать опасные нагромождения. Это следует уже теперь учитывать при эксплуатации разреза, а особенно при решении вопроса о судьбе внутрикарьерного пространства после окончания угледобычи.

Кроме того, следует помнить, что единственным поставщиком кислорода является растительность. А нарушение ее на площади свыше 2,5 тыс. га (разрез + отвал) представляется серьезным фактором, ухудшающим состояние атмосферы в этом промышленно развитом районе.

Рекультивация разрезов типа Коркинского – абсолютно не разработанная, комплексная и чрезвычайно многогранная и трудная проблема. Четко это осознавая, в данной работе ставились задачи, связанные лишь с вопросами рекуль-

тивации разреза биологическими методами. Поэтому все дальнейшее изложение ведется в плане характеристики Коркинского угольного разреза с позиций степени его пригодности для биологической рекультивации. В этом отношении важное значение имеет геологическое строение месторождения и характеристика основных пород, слагающих борта разреза.

Коркинский углеразрез расположен в пределах Коркинской мульды Коркинского угленосного района, которая приурочена к западной синклинальной структуре угленосного района (рис. 4). Коркинское месторождение является наиболее крупным в Челябинском угольном бассейне и представлено бурым углем с высокой степенью углефикации. Месторождение имеет 13 угольных пластов, подразделяемых на две группы:

1) пласты верхней продуктивной толщи, более тонкие, мощностью 0,7–15 м;

2) пласты мощные, залегающие до 900 м, с общей мощностью 120–140 м.

По тектоническому строению бассейн представляет собой клинообразно-асимметрический грабен, заполненный нижнепалеозойскими угленосными и кайнозойскими покровными отложениями. Возраст коркинской свиты по комплексу флоры определяется рэтским ярусом верхнего триаса.

Стратиграфический разрез участка открытых работ представлен на рис. 5.

Коркинская свита (T_3^3 kr) залегает стратиграфически выше козыревской свиты и играет основную роль в строении коркинской мульды. Разрез начинается с безугольного песчано-конгломератового горизонта мощностью до 200 м, соответствующего резкому опусканию ложа грабена после формирования козыревской свиты и заполнения его пролювиально-делювиальными осадками, и слагается плохо отсортированными конгломератами, гравелитами и разнозернистыми песчаниками с прослойками аргиллитов и алевролитов.

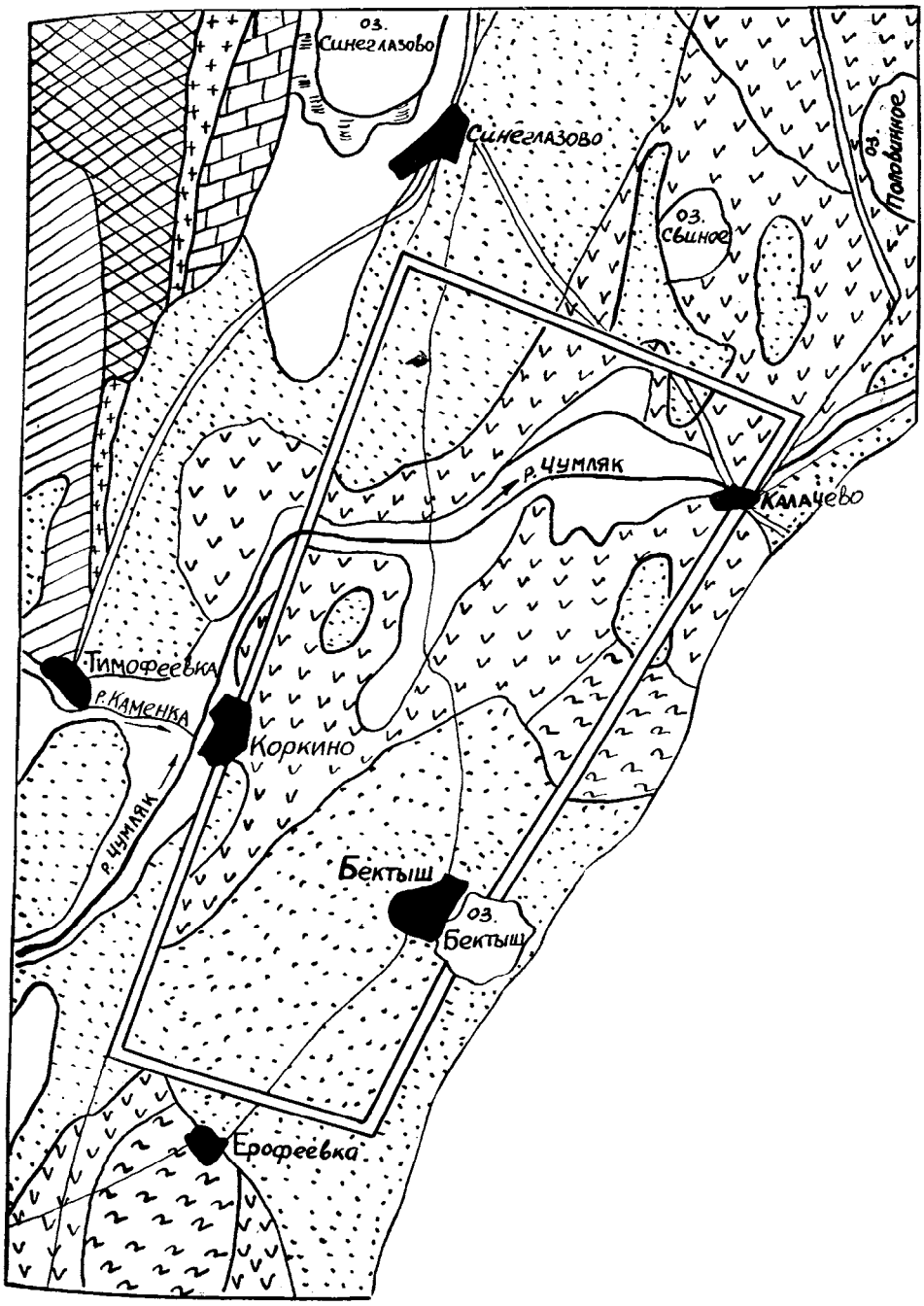

Рис. 4. Карта Коркинского угольного района (М 1 : 100 000)

//////////////////	– порфириты
. . . . .	– кварцевые пески
v v v v v v	– опоки и кварцевые глауконитовые песчаники
~ ~ ~ ~ ~ ~ ~	– песчаные глины
	– речные и озерные образования
	– границы угленосного района

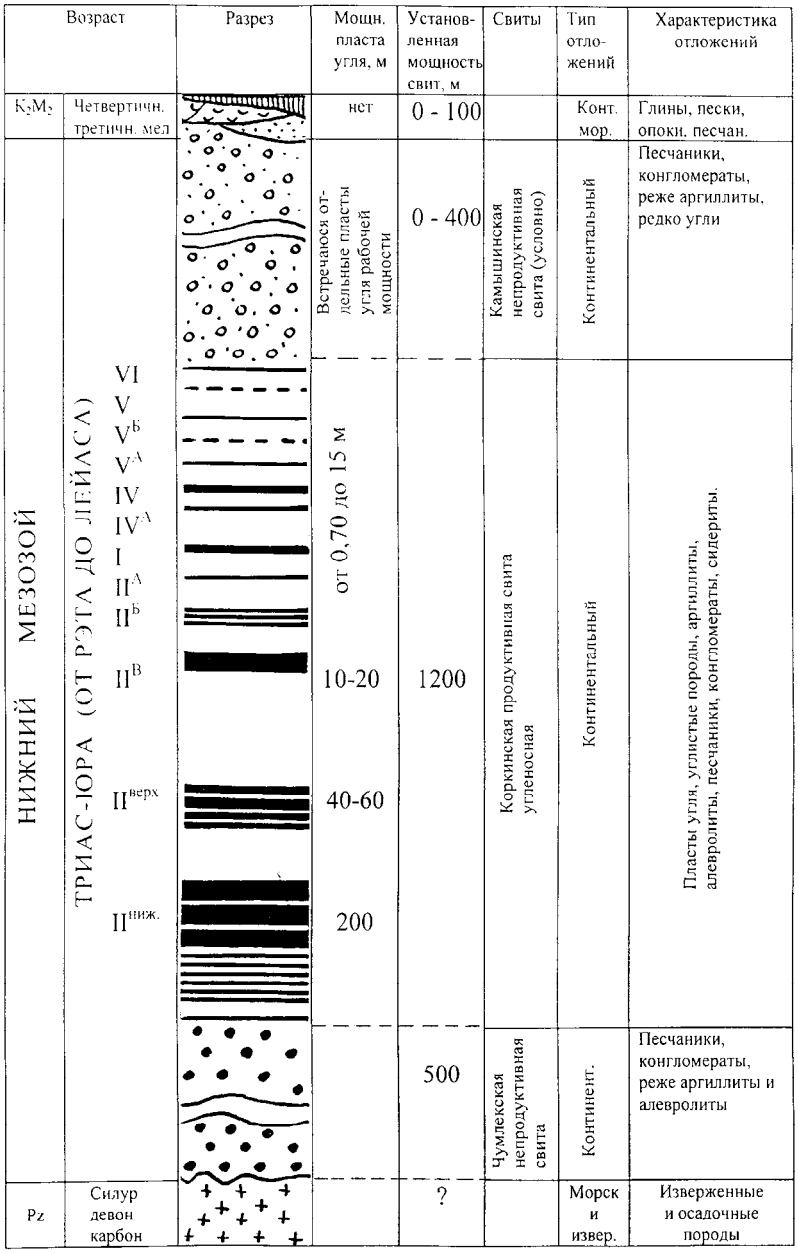

Рис. 5. Стратиграфический разрез участка открытых работ

Верхняя, продуктивная, часть свиты заключает в себе угольные пласты от II до IV включительно. Мощность ее колеблется от 200 до 800–1000 м. Изменение мощности свиты в довольно широких пределах наблюдается на сравнительно малых расстояниях. На юге Коркинской мульды мощность продуктивной части свиты равна 150–250 м. На западе и северо-западе, благодаря резкому

расщеплению угольных пластов и увеличению межпластовых расстояний, она возрастает до 800–1000 м на расстоянии 2–3 км.

Разрез продуктивных отложений слагается обычным для Челябинского бассейна комплексом пород, имеющим следующие соотношения:

Уголь	2,8 %
Углистые аргиллиты	0,7 %
Аргиллиты	38,8 %
Алевролиты	18,5 %
Песчаники	34,7 %
Гравелиты и конгломераты	3,7 %
Сидериты	0,8 %

Покровная толща представлена суглинками, глинами, опоковыми глинами. Гранулометрический состав этих пород характеризуется преобладанием частиц размером не более 0,05 мм; удельный вес изменяется в небольших пределах: 2,22–2,67 см^3; естественная влажность: 21–47 %, пористость: 12,9–37,4 %. Естественная влажность и пористость увеличиваются по мере увеличения глубины, что, возможно, связано с залеганием в подошве глин водоносного горизонта, приуроченного к кремнистой опоке.

Угленосная толща с глубины 5–50 м и ниже представлена терригенными породами: аргиллитами, алевролитами, песчаниками, реже конгломератами и гравелитами, которые по характеру связей между зернами могут быть отнесены к цементированным группам типа полускальных. Преобладающий состав обломочного материала: кварц, полевой шпат, кварциты, кремнистые породы, эффузивы, различные сланцы. Цемент чаще всего глинисто-карбонатный и глинисто-кремнистый, реже гидрослюдистый, карбонатный и глинистый. Количественное отношение цемента составляет 5–45 %.

Аргиллиты серые, реже черные, имеют массивное строение, реже слоистое. В составе отмечены кварц, кварцево-серицитовые агрегаты, плагиоклазы, биотит, хлорит, серицит. Часто присутствуют обрывки растительного детрита,

которые придают породе неясно выраженную слоистость. Объемный вес изменяется от 1,98 до 3,04 г/см^3, влажность – в пределах 1,18–8,51 %. Аргиллиты можно отнести к довольно мягким породам. Удельный вес колеблется от 2,56 до 3,26 г/см^3 и зависит от состава основной массы и количества примесей растительного детрита. Пористость изменяется в пределах 7,81–14,8 %.

Алевролиты близки аргиллитам. В их составе отмечены кварц, плагиоклазы, карбонаты, хлорит, циркон, турмалин, цементирующий материал глинистого и глинисто-слюдистого состава. Содержание цемента – от 15 до 45 %. Объемный вес изменяется от 2,32 до 2,68 г/см^3, влажность – от 1,48 до 5,38 %, удельный вес – от 2,66 до 2,78 г/см^3 и пористость – от 5,40 до 12,64 %. Алевролиты – весьма слабые, слабые и средней прочности породы.

Песчаники – темно-серые или зеленовато-серые породы. В разрезе свиты преобладают мелко- и среднезернистые слоистые песчаники со скоплениями углистого вещества и растительных остатков по плоскостям наслоения. Они имеют пестрый полимиктовый состав, включая обломки интрузивных, эффузивных, осадочных и метаморфических пород. Цемент по составу карбонатный, глинисто-карбонатный, глинисто-кремнистый и гидрослюдистый типа порового или соприкосновения и составляет 5–10 % породы. Объемный и удельный вес изменяются незначительно, соответственно 2,33–2,57 г/см^3 и 2,60–2,76 г/см^3. Значения влажности и пористости изменяются в широких пределах и соответственно составляют 0,62–8,04 % и 11,96–20,82 %.

Прочность песчаника зависит от состава цемента, его процентного содержания. Песчаники обладают повышенной прочностью при кремнистом, глинисто-кремнистом и карбонатном цементе. По прочностным свойствам песчаники относятся к весьма слабым, слабым породам, часть из них (30 %) – к породам средней крепости.

Конгломераты и гравелиты имеют незначительное распространение в продуктивной толще, залегая в виде маломощных прослоев. Сложены обломками кварца, кварцита, кремнистых кварцевых, кварцево-серицитовых и углисто-кремнистых сланцев, различных эффузивов. Степень окатанности различ-

ная, преобладают полуокатанные гальки размером от 1–3 до 5 см. Цемент глинистый, глинисто-карбонатный, реже – карбонатный базальный.

Все различные литологические разновидности близки между собой по ряду перечисленных характеристик.

Агрохимическая характеристика основных пород

Кроме вышеприведенной характеристики основных пород Коркинского угольного разреза, в плане определения пригодности их для биологической рекультивации важна также их агрохимическая характеристика (табл. 5). Основные вскрытые породы: песчаники различной зернистости, аргиллиты, алевролиты, опоки, глины опоковидные и угли. Это преимущественно породы продуктивной толщи.

Породы покровной толщи были охарактеризованы ранее. Представлены они суглинками, глинами и частично опоковыми глинами. Реакция среды их близка нейтральной (pH солевой вытяжки в разных частях колеблется от 5,7 до 7,5, а pH водной вытяжки – от 6,1 до 8,0). Эти породы довольно бедны питательными веществами: доступных фосфатов содержится 4–6 мг P_2O_5 на 100 г породы, а обменного калия – 9–14 мг K_2O на 100 г породы. Содержание азота в породах незначительно (от 0,01 до 0,145 % общего азота). Породы практически незасоленные.

Из таблицы 5 видно, что основные породы Коркинского разреза различаются своими агрохимическими показателями.

Песчаники различной зернистости не содержат водорастворимых солей или имеют слабое засоление – сухой остаток 0,23 %, у песчаника крупнозернистого реакция среды колеблется от нейтральной до кислой (pH солевой от 6,95 до 4,5). Обеспеченность элементами питания низкая, но на этом фоне выделяется тонкозернистый песчаник, содержащий высокое количество доступного фосфора (20,63 мг/100 г).

Общий углерод в песчаниках содержится в малых количествах (0,15–0,21 %), но песчаник тонкозернистый (образец 9) содержит более 1 % углерода.

Содержание гигроскопической влаги в песчаниках незначительно – около 1 % (0,76–1,77 %), что указывает на малые количества в них глинистых частиц.

Алевролит мелкозернистый имеет нейтральную реакцию среды, невысокое содержание воднорастворимых солей (0,26 %). Среди анионов по содержанию выделяется сульфат-ион (4,89 мг-экв/100 г), катионный состав характеризуется преобладанием Na^+ – 3,25 мг-экв/100 г. Обеспеченность элементами питания низкая, углерода содержится менее 1 %.

Глина опоковидная западного борта имеет слабокислую реакцию среды, не засолена, содержание элементов питания – низкое, содержание общего углерода – менее 1 %.

Аргиллиты из различных мест залегания имеют и различные агрохимические свойства. Аргиллит с остатками растительного детрита имеет нейтральную реакцию среды, не засолен, содержит незначительное количество углерода (0,69 %). Из элементов питания доступный фосфор содержится в низких количествах – 2,25 мг/100 г., а калием обеспечение очень высокое – 20,0 мг/100 г. K_2O, что связано, видимо, с наличием в составе аргиллита калийных минералов. Все перечисленные свойства весьма благоприятны для поселения и развития на такой разновидности аргиллита растительности. Противоположна агрохимическая характеристика аргиллита южного борта. Этот образец имеет сильнокислую реакцию среды (pH – 3,5), среднезасоленный (сухой остаток 0,4 %). В водном растворе преобладают SO_4^{2-}, Na^+ и Mg^{+2}. Содержание элементов питания различно: обеспеченность калием низкая, фосфором – средняя (6,0 мг/100 г P_2O_5). Отмечается довольно высокое содержание общего углерода – 5,42 %. Этот аргиллит является углистым, близкое залегание к толще угля может объяснить такую разницу в химизме данного образца и аргиллита образца 3.

Таблица 5

Агрохимическая характеристика основных пород Коркинского угольного разреза

№ n/n	Название пород	Гигроскопическая влага, %	Потеря при прокаливании, %	Общее содержание минеральных веществ, %	pH водный	pH солевой	Сухой остаток, %	Водная вытяжка мг/100 г Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^+	C, %	Подвижные обменные, мг/100 г Na^+	P_2O_5	K_2O
1	Уголь, южный борт, гор + 80	10,58	70,18	29,32	2,70	2,7	0,97	0,46	7,59	2,40	3,98	4,0	3,06	0,17	0,88	1,5
2	Уголь, северный борт, II верхний пласт, гор – 60	14,78	67,52	32,48	4,5	4,4	0,30	0,175	5,62	0,998	1,49	22,5	1,38	0,98	1,40	0,5
3	Аргиллит с остатками растительного детрита	2,92	10,45	89,55	7,7	7,0	0,01	Не засолен				–	0,69	отс.	2,25	20,0
4	Аргиллит, южный борт, гор + 180	4,11	20,74	79,26	3,50	3,5	0,40	0,175	3,85	1,60	2,32	7,0	5,42	7,0	6,00	1,75
5	Алевролит мелко-зернистый, южный борт, гор + 180	1,40	5,63	94,37	7,10	7,05	0,26	0,27	4,89	1,20	1,00	3,25	0,92	3,25	5,63	7,5
6	Песчаник крупно-зернистый с остатками растительного детрита, западный борт, гор + 20	0,90	6,48	93,52	7,10	6,80	0,23	0,27	4,26	0,90	1,49	7,5	0,21	7,5	2,70	2,5
7	Песчаник грубо-зернистый, северный борт, гор – 60	0,76	7,27	92,73	7,10	6,95	0,02	Не засолен				–	0,18	–	1,50	0,50
8	Песчаник мелко-зернистый, западный борт, гор – 20	1,49	4,86	95,14	4,75	4,50	0,12	>>				–	0,15	–	4,13	1,5
9	Песчаник тонко-зернистый, северный борт, гор – 60	1,77	5,96	94,04	6,85	6,00	0,15	>>				–	1,46	–	20,63	6,25
10	Опоки, западный борт	8,07	4,15	95,85	3,10	2,80	1,10	0,18	13,01	1,20	8,62	6,0	0,45	6,0	1,00	2,5
11	Глина опоковидная, западный борт	6,28	4,18	95,82	6,40	6,05	0,13	Не засолен				–	0,36	–	1,50	2,0

Уголь представлен образцами с южного и северного бортов. В общем плане химическая характеристика углей одинакова, различия касаются количественной стороны. Эти угли показывают кислую реакцию среды, но у образца 1 pH много ниже (реакция среды сильнокислая, pH – 2,7), чем у образца № 2 (pH – 4,5). Такие значения pH указывают на большие количества подвижных Al^{+3} и Fe^{+3}, увеличивающих фитотоксичность пород. Отмечаются большие различия и в содержании легкорастворимых солей: если образец 2 среднезасоленный (сухой остаток – 0,3 %), то образец 1 имеет концентрацию солей – 0,97 %. Очевидно уголь, где был отобран образец № 1, находится в стадии активного окисления содержащихся в нем пирита, маркизита и т. п. кислородом воздуха при участии определенных микроорганизмов, – другими словами, происходит химико-биологическое окисление вскрытого угля.

Засоление вызывают соли, содержащие анион SO_4^{2-} и катионы: Ca^{+2}, Mg^{+2} и Na^{+}. Ион хлора присутствует в водной вытяжке, но в количествах много меньших, чем сульфат-ион, и ниже порога фитотоксичности. В соотношении катионов Ca^{+2} и Mg^{+2} следует отметить преобладание более токсичного – магния. Во втором образце содержится большое количество натрия – 22,5 мг-экв/100 г. Обеспеченность подвижными K_2O и P_2O_5 низкая. Содержание общего углерода более 1 %. Следует отметить, что углерод ископаемых углей, в отличие от почвенного гумуса, является довольно инертным телом для увеличения активности которого необходима регенерация гуминовых кислот.

Опоки являются токсичным субстратом для поселения растений, так как имеют сильнокислую реакцию среды: pH солевой – 2,8; высокую степень засоленности (плотный остаток 1,1 %), высокое содержание сульфат-иона (13,01 мг-экв/100 г породы). Так же как и в углях, отмечается значительное преобладание магния над кальцием. Опоки значительно минерализованы (95,85 % минеральных веществ), содержание углерода менее 1 %; как правлило, при высокой засоленности незначительны содержания питательных веществ: P_2O_5 – 1,5 мг/100 г и K_2O – 2 мг/100 г.

В заключение следует отметить, что из одиннадцати образцов пород и их разновидностей пять не засолены, образцы 5, 6 незначительно засолены, образцы 2, 4 – слабозасоленные, уголь (образец 1) и опока – среднезасоленные породы. Тип засоления хлоридно-сульфатный, т. к. $Cl < SO_4^{2-}$, причем хлориды содержатся в допустимых для растений количествах, а сульфаты – в угнетающих количествах, а угли и опоки содержат SO_4^{2-} в токсичных концентрациях. Реакция среды пород (pH солевой) меняется от нейтральной до сильнокислой (pH 2,7–7,0), нет образцов со щелочными свойствами.

Высокое содержание общего углерода не характерно для образцов, лишь у аргиллита (4-й образец), углей (1-й и 2-й) и песчаника (9-й) углерода содержится более 1 %. Содержание элементов питания в основном низкое, по содержанию P_2O_5 следует отметить аргиллит (образец 4) и алевролит (образец 5) – со средним содержанием, а песчаник (образец 9) содержит P_2O_5 – 20,63 мг/100 г. По обеспечению обменным калием выделяется лишь аргиллит (образец 3), содержащий 20 мг/100 г K_2O.

Классификация пород разреза по степени пригодности для биологической рекультивации

В этом подразделе для примера приведена классификация пород Коркинского разреза по степени их пригодности для биологической рекультивации (табл. 6).

При проведении работы по изысканию способов биологической рекультивации карьера необходимо оценить свойства пород в месте их залегания. Оценка проведена с точки зрения возможности использования уступов, сложенных определенными породами, для биологической рекультивации. При этом учитывалась ограниченность мер улучшения, применение которых возможно при практическом проведении рекультивационных работ в разрезе.

В таблицах 6 и 7 приведены возможные меры улучшения пород и способы их использования. Поскольку речь идет о биологической рекультивации, то

основным способом использования является посадка деревьев и кустарников и посев многолетних трав специально подобранного ассортимента.

Рекультивация зон обрушений и провалов

Провалы и зоны обрушений образуются при подземном способе разработки полезных ископаемых.

Отрицательное влияние подземных горных работ вызывающее необходимость рекультивации проявляется в следующем:

– площадном изменении топографии и эстетики местности;

– пылении выветривающихся пород, вызывающем загрязнение окружающей среды;

– нарушении гидрологического режима;

– в наличии фактора риска для населения, проживающего в зоне подработанной поверхности.

При подземном способе добычи сырья применяется технология сплошной выемки с обрушением кровли или с закладкой выработанного пространства, или камерно-столбовым способом с оставлением целиков. Нарушенная поверхность может быть представлена породными отвалами конусовидной или плоской формы, зонами плавных оседаний (деформаций) поверхности или зоной обрушения с выходом на поверхность воронок.

Наиболее распространенным способом ликвидации зон обрушения и провалов является формирование в них отвалов пород вскрыши от открытого способа добычи сырья или отходы обогащения по разработанной технологии с последующим покрытием их плодородным слоем и проведением биологической рекультивации по индивидуальным проектам.

«Таким образом, вопросы рекультивации карьеров, зон обрушений и провалов на рудных карьерах могут решаться как для индивидуального объекта, так и для комплекса нарушенных территорий на предприятиях, ведущих добычу сырья как открытым, так и подземным способом. Каждое техническое решение должно быть индивидуальным, базирующимся на учете не только эконо-

мики горного производства, но и его экологических проблем» (Чайкина, Объедкова, 2003).

Лекция 3

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ НАПРАВЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Определение понятия сельскохозяйственной рекультивации. Особенности горно-технического и биологического этапов при сельскохозяйственной рекультивации. Способы и приемы улучшения свойств субстрата. Агротехника посева. Ассортимент растений. Экологически устойчивые модели рекультивации земель для степной зоны Украины.

Сельскохозяйственное направление биологической рекультивации – создание на нарушенных землях сельскохозяйственных угодий (пашен, сенокосов, пастбищ и др.).

Созданная в первые годы работы лаборатории промышленной ботаники Уральского государственного университета методика фитомелиорации отвалов перерабатывающей промышленности в своей основе, но с различными модификациями, была принята и для биологической рекультивации породных отвалов – отвалов горнодобывающей промышленности сельскохозяйственного, санитарно-гигиенического и рекреационного направлений.

Горнотехнический этап рекультивации включает в себя работы по планировке поверхности отвалов (созданию рельефа), нанесению плодородного или потенциально плодородного слоя, внесению основного минерального удобрения.

Биологический этап рекультивации включает в себя посев многолетних трав, посадку древесных и кустарниковых видов при создании защитных полос, уход за ними.

Таблица 6

Классификация пород Коркинского угольного разреза по степени пригодности для биологической рекультивации

Группа пригодности	Название породы	Краткая характеристика	Меры улучшения	Способ использования
I. Пригодные а) плодородные	Плодородный слой почвы	Мощность 30–40 см. Структура комковато-ореховатая. Темно-серый и бурый средний и тяжелый суглинок. Реакция среды – от слабокислой до слабощелочной (pH = 6,5–7,8). Содержание углерода гуминовых соединений 0,78–2,36 %, общего азота – от 0,2 до 0,31 %. Обеспеченность доступными фосфатами – средняя и низкая, обменным калием – низкая. Незасоленный.	Внесение фосфорных и калийных удобрений.*	При горных работах необходима селективная выемка и складирование. Наносится на спланированные поверхности отвалов или технически подготовленные уступы карьеров при их биологической рекультивации. При посадке деревьев и кустарников целесообразна добавка в посадочные ямы и траншеи.
б) потенциально плодородные	Четвертичные бурые и темно-бурые суглинки	Мощность средняя 1,5 м. Глубина залегания 0,4–1,9 м. Средний и тяжелый суглинок. Реакция среды щелочная (pH_{H2O} = 7,4–8,4). Содержание углерода гуминовых соединений 0,30–0,86 %, общего азота 0,05–0,21 %. Обеспеченность доступными фосфатами – средняя и низкая, обменным калием – средняя. Незасоленный.	Внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений.	Посадка деревьев и кустарников. Посев многолетних трав.
	Глины желтые, бурые, желто-бурые запесоченные	Мощность 1,3–2,8 м. По механическому составу от тяжелого суглинка до средних глин. Реакция среды слабощелочная (pH = 7,0–7,3). Содержание углерода гуминовых соединений 0–0,3 %, общий азот практически не обнаруживается. Обеспеченность доступными фосфатами и обменным калием низкая. Незасоленные, но изредка встречается слабое хлоридно-сульфатное и среднее сульфатное засоление.	Внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений.	Посадки деревьев и кустарников. Посев многолетних трав.

Продолжение табл. 6

Группа пригодности	Название породы	Краткая характеристика	Меры улучшения	Способ использования
II. Малопригодные а) по физическим и химическим свойствам	Песчаники слабой цементации и продукты их выветривания	Темно-серые или зеленовато-серые породы различной зернистости. Преобладают мелко- и среднезернистые с вкраплением углистого вещества и растительных остатков. Объемный и удельный вес составляют соответственно 2,33–2,57 г/см^3 и 2,60–2,76 г/см^3. Значение влажности и пористости колеблется в широких пределах и составляет соответственно 0,62–8,04 % и 11,96–20,82 %. Гигроскопическая влага 0,76–1,77 %. Продукты их выветривания представляют из себя супеси и легкие и средние суглинки. Реакция среды от кислой до нейтральной (pH $_{H2O}$ = 4,8–7,1). Содержание углерода незначительно (0,15–0,21 %). Обеспеченность элементами питания низкая.	Внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений. Улучшение водно-физических свойств добавлением потенциально-плодородных суглинков и глин.	Посадки деревьев и кустарников специально подобранного ассортимента. Посев многолетних трав.
	Алевролиты весьма слабые и слабые и продукты их выветривания	Серые и темно-серые породы, преимущественно мелкозернистые. Объемный вес 2,32–2,68 г/см^3. Удельный вес 2,66–2,78 г/см^3. Влажность и пористость колеблются и составляют соответственно 1,48–5,38 % и 5,4–12,64 %. Гигроскопическая влага – 1,4 %. Реакция среды нейтральная. Обеспеченность элементами питания низкая. Содержание углерода 0,92 %. Незасоленные.	Внесение азотных, калийных и фосфорных удобрений. Улучшение водно-физических свойств добавлением потенциально-плодородных суглинков и глин.	Посадки деревьев и кустарников специально подобранного ассортимента. Посев многолетних трав.
	Аргиллиты весьма слабые и слабые, с остатками растительного детрита. Продукты их выветривания	Серые, реже черные, массивные или слоистые породы. Объемный вес 1,98– 3,04 г/см^3. Удельный вес 2,56–3,26 г/см^3. Влажность и пористость составляют соответственно 1,18–8,51 % и 7,81–14,8 %. Гигроскопическая влага – 2,92 %. Реакция среды нейтральная, содержание углерода 0,69 %. Обеспеченность доступными фосфатами низкая, обменным калием – высокая. Незасоленные.	Внесение азотных, калийных и фосфорных удобрений. Улучшение водно-физических свойств добавлением потенциально-плодородных суглинков и глин.	Посадки деревьев и кустарников специально подобранного ассортимента. Посев многолетних трав.

Продолжение табл. 6

Группа пригодности	Название породы	Краткая характеристика	Меры улучшения	Способ использования
	Глина опоковидная	Гигроскопическая влага – 6,28 %. Реакция среды слабокислая. Содержание углерода 0,36 %. Обеспеченность элементами питания низкая. Незасоленная.	Внесение азотных, калийных и фосфорных удобрений. Улучшение водно-физических свойств пескованием.	Посадки деревьев и кустарников специально подобранного ассортимента. Посев многолетних трав.
III. Непригодные а) по физическим свойствам	Песчаники, аргиллиты и алевролиты средней и прочной цементации	Характеристика их соответствует приведенной выше для этих пород. Цементация прочная – кремнистая, глинисто-кремнистая и карбонатная. По характеру связей между зернами и цементации относятся к типу полускальных грунтов.	Перекрытие поверхности или заполнение посадочных ям и траншей рыхлыми породами I и II групп (с использованием удобрений).	Посадки деревьев и кустарников специально подобранного ассортимента. Посев многолетних трав.
	Конгломераты и гравелиты	Залегают в виде маломощных прослоев. Сложены обломками кварца, кварцита, кремнистых, кварцевых, кварцево-серицитовых и углисто-кремнистых сланцев, различных эффузивов. Степень окатанности различная, преобладают полуокатанные гальки размером от 1–3 до 5 см. Цемент глинистый, глинисто-карбонатный, реже карбонатный базальный.	Перекрытие поверхности или заполнение посадочных ям и траншей рыхлыми породами I и II групп (с использованием удобрений).	Посадки деревьев и кустарников специально подобранного ассортимента. Посев многолетних трав.
б) по химическим свойствам	Углистые аргиллиты	Физические характеристики сходны с приведенными выше для аргиллитов. Гигроскопическая влага 4,11 %. Сильно кислая реакция среды (pH – 3,5). Содержание общего углерода – 5,42 %. Обеспеченность обменным калием низкая, доступными фосфатами – средняя. Среднезасоленные.	1. Перекрытие пригодными породами с обязательным созданием экранирующего слоя. Технология и мощность перекрытия определяются способом дальнейшего использования. 2. Известкование (40–60 т/га $CaCO_3$).	Посев многолетних трав, устойчивых к повышенной кислотности грунтов и засолению.

окончание таблицы 6

Группа пригодности	Название породы	Краткая характеристика	Меры улучшения	Способ использования
	Опоки	Гигроскопическая влага – 8,07 %. Реакция среды – сильнокислая (pH – 2,8). Засолены (плотный остаток – 1,1 %). Высокое содержание сульфатиона и катиона M^{+2}. Обеспеченность элементами питания низкая.	1. Перекрытие пригодными породами с обязательным созданием экранирующего слоя. Технология и мощность перекрытия определяются способом дальнейшего использования. 2. Известкование (40-60 т/га $CaCO_3$).	Посев многолетних трав, устойчивых к повышенной кислотности грунтов и засолению.
	Уголь	Гигроскопическая влага 10,6–14,8 %. Реакция среды кислая (pH 2,7–4,5). Содержание углерода 1,4–3,0 %. Обеспеченность подвижными калием и фосфором низкая. Засолен.	Как для углистых аргиллитов.	Посев многолетних трав, устойчивых к повышенной кислотности грунтов и их засолению.

Примечание: * – Удобрения вносятся из расчета: азот – 90 кг, фосфор – 60 кг, калий – 60 кг действующего начала на 1 га под многолетние травы (по 2–3 ц/га соответствующих минеральных удобрений) и по 3–6 ц/га азотных, фосфорных и калийных удобрений под посадки деревьев и кустарников.

Таблица 7

Структура и мощность покрывающего слоя в зависимости от направления биологической рекультивации и свойств пород

Группа пригодности	Название породы	Местоположение рекультивируемого участка	Направление биологической рекультивации	Меры улучшения*
1. Малопригодные по физическим и химическим свойствам	Песчаники слабой цементации и продукты их выветривания	Берма	Посев многолетних трав	Нанесение слоя почвы или потенциально плодородных пород мощностью 10–15 см поверхностно или с перемешиванием глубоким рыхлением.

окончание таблицы 7

Группа пригодности	Название породы	Местоположение рекультивируемого участка	Направление биологической рекультивации	Меры улучшения *
	Алевролиты и аргиллиты весьма слабые и продукты их выветривания		Посадки деревьев и кустарников	Внесение органических удобрений (торф, навоз) из расчета 40 т/га. Внесение почвы или потенциально плодородных пород в траншеи и ямы при посадке.
		Склон	Посев многолетних трав с одновременным укреплением склона техническими средствами.	–
			Посадки деревьев и кустарников с подсевом многолетних трав	Внесение почвы или потенциально плодородных пород в траншеи и ямы при посадке.
2. Непригодные				
а) по физическим свойствам	Песчаники, аргиллиты и алевролиты прочной цементации	Берма	Посадки деревьев и кустарников	Заполнение посадочных ям и траншей рыхлыми породами I и II групп (см. табл. 6)
	Конгломераты и гравелиты		Посев многолетних трав с обсадкой края эрозионно-устойчивыми кустарниками	Нанесение слоя пород I и II группы мощностью 40–50 см.
		Склон	Не подлежат рекультивации	-
б) по химическим свойствам	Углистые аргиллиты, некондиционные угли, опоки	Берма	Посев многолетних трав с созданием по краю противоэрозионного барьера из кустарников	Создание изоляционного слоя из щебня или тяжелых глин мощностью 40–50 см. Нанесение слоя пород I и II группы мощностью 40–50 см на щебень и 20–30 на глины.
		Склон	Не подлежит рекультивации	-

Примечание: * – Наряду с перечисленными мерами следует предусматривать внесение минеральных удобрений. Нормы внесения приведены в табл. 6.

В ходе длительных исследований была доказана возможность улучшения свойств субстратов с помощью различных приемов. Исходя из местных особенностей расположения отвалов возможны следующие основные приемы обогащения их поверхности необходимыми для роста и развития растений питательными веществами.

1. Прием «землевания» – нанесение на поверхность отвалов почвы, торфа или потенциально плодородного грунта, толщина слоя которых может колебаться от 2–4 см (на золоотвалах) до 20–50 см и более (на породных отвалах).

При землевании поверхность отвалов может покрываться как равномерно по всей площади, так и полосами, причем полосы с покрытием шириной 6–10 м каждая чередуются с такими же по размеру полосами без покрытия. Оба типа полос располагаются поперек господствующего направления ветров. Полосы с покрытием засеваются многолетними травами, а также практикуются посадки деревьев и кустарников. Такой способ покрытия дает экономию как посевного и посадочного материала, так и наносимого покрытия.

2. Внесение полного минерального удобрения (NPK) с учетом имеющегося содержания питательных веществ в субстрате, слагающем отвал, которое делится на два этапа: осенью вносятся фосфорные и калийные удобрения из расчета 60–90 кг действующего начала на гектар; весной внести азотные удобрения – 90–120 кг/га из расчета 30–45 кг действующего начала на гектар.

Ежегодная подкормка посевов способствует лучшему развитию культур и скорейшему задернению отвалов.

3. Полив поверхности отвалов, в частности золоотвалов, в течение вегетационного периода обезвреженными сточными водами (после прохождения их через очистные сооружения). Полив следует проводить как до посева, так и после, начиная с 10-го дня после посева, в течение всего вегетационного периода (с мая по сентябрь) из расчета 200–500 $м^3$/га за один раз, согласуя его с фазами развития растений. Состав применяемых сточных вод должен соответствовать нормам санитарно-эпидемиологической службы по содержанию вредных веществ.

4. Для прекращения пыления и стабилизации поверхности золоотвала применяется посев на золе с применением лигнина, латекса, полиакриламида и других химических веществ.

5. Применение микробиологических препаратов для активации микрофлоры и стимуляции роста растений.

Агротехника посева. *Предпосевная обработка* подготовленных площадей в зависимости от вида освоения, свойств субстрата может включать как безотвальную вспашку с почвоуглубителем, так и дискование или боронование тяжелыми боронами в 2–4 следа.

Подготовка семян. Семена злаковых трав не требуют предварительной обработки, но для улучшения всхожести их можно подвергнуть воздушно-тепловому обогреву.

Семена бобовых по правилам следует подвергать скарификации. Но как показал опыт, при посеве на отвалах этот прием можно не проводить, т. к. семена, не проросшие в первый год, пополняют количество растений в последующие годы. Хорошие результаты дает обработка семян бобовых бактериальными удобрениями, в частности нитрагином, из расчета 1 кг (2 бутылки) на рекомендуемую гектарную норму высева семян.

Сроки посева. Посев семян проводится или рано весной – с 25 апреля до 15 мая или летом—с 20 июля по 10 августа, т. е. в период выпадения осадков.

Посев семян можно проводить как вручную, так и механизированным способом с использованием зернотравяной (СЗТ–47) или овощной (СОН–2,8) сеялки с последующим боронованием и прикатыванием гладким катком.

Глубина заделки семян. Мелкие семена заделываются на глубину 1–2 см, крупные – 3–4 см.

Ассортимент растений и агротехнические приемы создания растительного покрова на отвалах. Чтобы получить на отвалах травяной покров санитарно-гигиенического назначения, следует использовать виды многолетних растений, способные быстро формировать дернину и прекращать дефляцию субстратов. К таким видам из злаков относятся: овсяница красная, мятлик луговой, кострец

безостый, полевица белая. Из бобовых целесообразно вводить донники белый и желтый – двулетние растения, обладающие хорошим семенным возобновлением. При создании травяного покрова хозяйственного значения включаются высокопродуктивные кормовые культуры: кострец безостый, овсяница луговая, житняк гребенчатый, регнерия омская, люцерна синегибридная, эспарцет песчаный и др. (табл. 8).

Таблица 8

Ассортимент многолетних травянистых растений

Название растений	Обычная полевая норма высева семян, кг/га
Злаковые	
Ежа сборная	12–15
Житняк гребенчатый	10–12
Кострец безостый	20–25
Овсяница красная	12–15
Овсяница луговая	12–15
Пырей бескорневищный	20–25
Пырей ползучий	10–15
Райграс пастбищный	15–25
Регнерия волокнистая	12–15
Тимофеевка луговая	8–12
Бобовые	
Донник белый двухлетний	15–20
Донник желтый двухлетний	15–20
Клевер красный	12–16
Клевер белый	8–10
Люцерна желтая	10–15
Люцерна синегибридная	10–15
Люпин многолетний	30–40
Эспарцет песчаный	70–80

Норма высева семян. Для фитомелиорации отвалов норму высева семян многолетних трав следует увеличивать в 2–4 раза по сравнению с обычной полевой в связи с неблагоприятными водно-физическими и агрохимическими свойствами субстратов отвалов. Кроме того, норма высева семян должна устанавливаться с учетом хозяйственной годности семян.

Для создания на отвалах декоративных пятен пригодны однолетние цветочные культуры: люпин однолетний, космея, ноготки, циния, василек синий, ленок, мак и др.

Одновременно с посевом многолетних трав следует проводить посадку деревьев и кустарников, формируя из них защитные полосы или небольшие «колки», что будет способствовать накоплению снега, уменьшению водной и ветровой эрозии поверхности отвалов. Для этого рекомендуются следующие деревья и кустарники: тополь бальзамический, яблоня мелкоплодная, осина, береза бородавчатая, береза пушистая, ива козья, ива пятитычинковая и др., сосна обыкновенная, карагана желтая, шиповник коричный, ракитник русский, малина лесная, облепиха, смородина золотистая, клен американский, лох узколистный и др. Возможно создание крупноплощадных культурдендроценозов. Посадку древесных и кустарниковых видов на отвалах как правило проводят в ямки или траншеи с внесением плодородной почвы.

Культурфитоценозы, формируемые на отвалах путем посева многолетних трав уже на третий год жизни дают прочную дернину, сомкнутый травостой и пригодны для сенокошения. Урожайность сена колеблется от 10,5 до 26 ц/га (злаки); от 20 до 45,5 ц/га (бобовые).

Рекультивированные территории промышленных отвалов по такой технологии на Урале лишь частично используются как сельхозугодья (преимущественно сенокосы и пастбища). Это золоотвалы Верхнетагильской ГРЭС, породные отвалы Богословского и Веселовского угольных месторождений и некоторые другие. Часто данную технологию с минимальным улучшением свойств субстрата и посевом многолетних трав используют при рекреационном и санитарно-гигиеническом направлениях рекультивации.

Рекреационное направление биологической рекультивации – создание на нарушенных землях объектов отдыха.

Санитарно-гигиеническое направление биологической рекультивации, которое предусматривает биологическую или техническую консервацию нарушенных земель, оказывающих отрицательное воздействие на окружающую среду, рекультивация которых для хозяйственного использования экономически не эффективна.

Реальный опыт сельскохозяйственной рекультивации на значительных площадях с использованием снятого при разработке полезных ископаемых чернозема накоплен на Украине. Учеными Днепропетровского государственного аграрного университета (ДГАУ) разработаны экологически устойчивые модели рекультивации (Бекаревич и др., 2003).

*Модель первая – основная, универсальная***.** Предусматривает создание на поверхности устоявшихся отвалов горных пород плодородного слоя почвенной массы оптимальной толщины 50–60 см. Позволяет вести традиционное земледелие, не отличающееся от зонального на ненарушенных территориях. Технология создания такого эдафотопа состоит из следующих взаимосвязанных этапов: первичной планировки поверхности отвалов, фитомелиоративного периода на время стабилизации поверхности, повторной планировки, нанесения плодородного слоя почвенной массы.

При проведении первичной планировки отвалов необходимо учитывать разнокачественность литологического состава. В вскрываемой надрудной толще могут встречаться геологические отложения с неблагоприятными свойствами (фитотоксичные, мономинеральные, монодисперсные, соленосные и т. п.), которые должны перекрываться потенциально плодородными горными породами (лессовидными и красно-бурыми суглинками, красно-бурыми и серо-зелеными глинами, а также их техническими смесями) слоем не менее 2–3 м.

На свежеспланированных отвалах первые 5–8 лет наблюдаются интенсивные усадочные и просадочные процессы нарушенной толщи. Образуются неровности в рельефе, способствующие перераспределению экологических ресурсов, развитию эрозионных процессов, вымоканию озимых и многолетних посевов, иногда даже заболачиванию и засолению рекультивированных земель. Это приводит к ухудшению качества проводимых агротехнических приемов, затрудняет применение сельскохозяйственной техники и, следовательно, к недобору урожая и увеличению затрат на производство. Ремонт таких площадей – трудо- и ресурсозатратное мероприятие. Некоторого уменьшения этих негативных процессов можно достичь применением «бесконусного» отвалообразова-

ния, формирования общего уклона поверхности 1–2° для естественного стока. Поэтому практика показала необходимость повторной планировки площадей, подготовленных для покрытия почвенной массой после относительной стабилизации поверхности. На этом этапе спланированные потенциально плодородные горные породы выступают в качестве непосредственного объекта сельскохозяйственного производства. По отношению к многолетним бобовым травам они являются вполне плодородными субстратами.

На вскрышных горных породах с узким экологическим объемом, обусловленным наличием нескольких ограничивающих факторов (соленосные лессовидные суглинки, красно-бурые, пёстро-зеленые и черные сланцеватые глины) целесообразно использовать фитомелиоративный период под одновидовые посевы двух- и многолетних бобовых трав с такими схемами чередования: 1 – донник белый или желтый > пар > люцерна > пар > эспарцет; 2 – люцерна > пар > эспарцет; 3 – эспарцет > пар > люцерна.

На субстратах с более широким экологическим объемом (незасоленные лессовидные и красно-бурые суглинки, серо-зеленые бескарбонатные и мергелистые глины) фитомелиоративный период можно осуществлять в один этап – культивировать долголетние сложные бобово-злаковые агроценозы, состоящие из компонентов с разными экологическими требованиями к среде (люцерна, эспарцет, кострец, житняк). Применение фосфорных удобрений под основную обработку и азотных подкормок с четвертого года использования существенно повышает урожайность и фитомелиоративный эффект.

Таким образом, в комплекс биологических приемов рекультивации предлагается введение фитомелиоративного этапа, который осуществляется после выравнивания поверхности отвалов и продолжается до покрытия последних слоем почвенной массы. Фитомелиорация подстилающих пород позволяет также существенно улучшить их агрохимические, физические и биологические свойства.

После относительной стабилизации поверхности (через 5–10 лет) производится распашка многолетних агроценозов, повторная планировка и покрытие

плодородным слоем почвенной массы. Уровень плодородия искусственных эдафотопов зависит прежде всего от толщины и качественных показателей наносимого слоя почвенной массы. По валовым запасам гумуса можно судить о потенциальном плодородии отдельных генетических горизонтов почвы и их смесей. При рекультивации земель в Никопольском марганцеворудном бассейне (Украина) используется техническая смесь почвенной массы гумусо-аккумулятивного и первого переходного горизонтов чернозема южного с содержанием гумуса 3,4 % (варьирование от 2,7 до 4,3 %). Запасы гумуса являются основным критерием при определении рациональной толщины наносимого слоя почвенной массы. В ненарушенных зональных черноземах южных общие запасы гумуса в почвенном профиле (слой до 70 см) составляют от 217 до 381 т/га при среднем показателе 298 т/га. В 10-см слое смеси гумусо-аккумулятивного и первого переходного горизонтов запасы гумуса составляют 48 (38–60) т/га. Для создания искусственного эдафотопа с запасами гумуса, равными запасам в зональных ненарушенных почвах, необходимо нанесение 50–60 см слоя почвенной массы. Объем наносимого слоя составляет 5–6 тыс. $м^3$/га.

Модель вторая – повышенного плодородия. Отличается от основной качественными или количественными характеристиками насыпного слоя почвенной массы. Осуществляется за счет увеличения толщины насыпного слоя почвенной массы до 70–100 см или использования высокогумусированной почвенной массы (нанесения только гумусо-аккумулятивного горизонта).

Исследованиями установлено, что дополнительное нанесение 10-см слоя до 80–100 см (сверх 50-см слоя плодородной почвенной массы чернозема южного) повышает урожайность зерновых культур (наиболее отзывчивых на содержание гумуса) ежегодно в среднем на 1,4–3,8 ц/га. Такие рекультивированные земли рекомендуется использовать под севообороты с максимальным насыщением требовательных к почвенному плодородию сельскохозяйственных культур-мегатрофов, урожайность которых может повышаться на 20–40 %.

Модель третья – гидромелиоративная. В подзоне черноземов южных основным лимитирующим фактором является влага. При рекультивации земель появляется возможность создавать модели эдафотопов, обеспечивающих эффективное использование выпадающих осадков. Это достигается созданием трехслойной модели с двухярусной подстилающей основой. На спланированную поверхность после фитомелиоративного рельефостабилизирующего периода сначала наносится слой из водоупорных незасоленных глин мощностью 25–30 см, затем – водовмещающий слой из отложений легкого гранулометрического состава (30–50 см). Для создания этого слоя используются субстраты легкого или среднего гранулометрического состава (древнеэллювиальные пески, незасоленные лессовидные или красно-бурые суглинки). Гидрологический объем 10-см слоя этих отложений может достигать 25–40 мм с водоотдачей 85–95 %. И последующее нанесение 50–60 см слоя почвы. Общая водовмещающая емкость этой модели обеспечивает практически полное поглощение выпадающих осадков и их рациональное использование агроценозами в течение вегетационного периода.

За счет этого плодородие рекультивированных земель может быть повышено на 25–35 %.

Модель четвертая – геомелиоративная. При вынесении на дневную поверхность геологических отложений с неблагоприятными для растений свойствами (фитотоксчные, в т. ч. пиритсодержащие, соленосные горные породы и пр.), последние перекрываются сначала карбонатными лессовидными суглинками слоем 50–80 см, а затем – плодородным слоем почвенной массы толщиной 50–70 см. При этом лессовидне суглинки, содержащие 12–15 % углекислого кальция, служат геомелиоративным экраном, устраняя вредные свойства подстилающих горных пород.

Модель пятая – локальная. На основании длительных почвенно-биологических исследований по изучению реакции плодовых и ягодных насаждений на условия произрастания разработаны оптимальные параметры строения техногенных почв, обеспечивающих высокую продуктивность.

Под ягодные кустарники достаточно локального внесения плодородного слоя почвенной массы чернозема южного (смесь гумусо-аккумулятивного и первого переходного горизонтов) в траншеи (глубина 70 см, ширина – 100 см) при 3-метровых междурядьях.

Для создания плодовых насаждений целесообразно создавать модели с локальным внесением плодородной почвенной массы – в ямы. Минимальная мощность корнеобитаемого слоя для плодовых культур на слаборослых подвоях должна быть не менее – 1,2 м, для средне- и сильнорослых – до 2 м. Площадь поверхности ям должна составлять не менее 2–3 м^2.

Таким образом, под ягодные насаждения при траншейном способе достаточно локально внести 2 700 м^3/га плодородной почвенной массы, а под плодовые при ямочном способе посадки – от 1 000 до 2 000 м^3, т. е. в 2,5–5 раз меньше, чем для создания универсальной модели рекультивированного эдафотопа.

Модель шестая – специальная. Искусственные эдафотопы в этой модели представлены потенциально-плодородными полиминеральными нефитотоксичными горными породами.

При создании и использовании этой модели следует учитывать различные условия образования геологических отложений даже в пределах одной геологической эпохи, которые формируют пестроту состава и свойств. Так, четвертичная лессовидная толща Никопольского марганцеворудного бассейна (мощностью 5–14 м) одним-тремя слоями погребенных почв расчленяется на 2–4 стратиграфичесих яруса, неоднородных по химическому составу: встречаются ярусы с соленосными элювиально-остаточно-аккумулятивными горизонтами, в которых содержание легкорастворимых солей повышается до 1 % и более. В процессе горных разработок происходит перемешивание ярусов лессовидной толщи, которое вызывает неравномерное распределение легкорастворимых солей в образующейся горной массе, изменение гранулометрического состава и некоторых физико-химических свойств.

Вскрышные горные породы, разрабатываемые даже из одного стратиграфического яруса, не могут быть охарактеризованы как однородная горная мас-

са. Оценивая их пригодность для биологической рекультивации, необходимо учитывать, в первую очередь, гранулометрический состав, соленость, особенности минералогического и химического состава.

В процессе биологического освоения вскрышные горные породы подвергаются интенсивным процессам выветривания и почвообразования, изменяя эффективное плодородие от бедных (олиготрофных) субстратов до субстратов (мезотрофных) среднего уровня плодородия. Исключительно важную роль в их биологизации на первых этапах освоения играют многолетние бобовые травы, благодаря которым стало возможным введение фитомелиоративных севооборотов в постфитомелиоративный период с урожайностью сена люцерны и эспарцета 37–45 ц/га, бобово-злаковых травосмесей – до 43–54 ц/га, зерна озимой пшеницы – до 35–41 ц/га.

При конструировании моделей искусственных эдафотопов создается уникальная возможность «делать земли под заказ» с наиболее рациональными параметрами и свойствами, позволяющими наиболее полно раскрыть генетический потенциал растений, с максимальным использованием биоклиматического потенциала местности.

Лекция 4

ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОЕ НАПРАВЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Определение понятия лесной рекультивации. Подготовка отвалов под лесонасаждения. Особенности роста древесных и кустарниковых пород на отвалах. Методы мелиорации грунтосмесей и интенсификации роста лесных культур на отвалах. Ассортимент деревьев и кустарников с учетом зонально-климатических, эдафических условий и биологической устойчивости лесных пород. Особенности лесной рекультивации в зависимости от форм разрушения земной поверхности и физико-географических условий.

Опыт лесной рекультивации в Кузбассе. Естественное восстановление лесных фитоценозов на Урале.

Рекультивация в нашей стране рассматривается как одно из важнейших направлений в охране природных и в том числе земельных ресурсов. Первыми работами по лесной рекультивации у нас в стране следует считать освоение для лесохозяйственных целей торфяных выработок на севере и северо-западе европейской части, озеленение терриконов в Донбассе. Одними из первых рекультивационных районов на нарушенных промышленностью землях в нашей стране стали Подмосковный горнохимический комбинат и лесопосадки в Тульской области.

В лесорекультивационной практике необходимо более полно учитывать естественное восстановление лесной растительности на отвалах. В общем плане рекультивации нарушенных горными работами территорий большого района целесообразно ряд участков использовать как участки для спортивной охоты, рыболовства и мест обитания диких животных. В таких случаях при проведении рекультивации можно ограничиться мероприятиями по содействию естественному восстановлению лесов и последующей реконструкции малоценных молодняков. На Урале с этой целью проводят разреживание мелколиственных пород и посадку саженцев сосны и лиственницы площадками. Это так называемый пассивный способ лесной рекультивации, в отличие от активного способа – посадки лесокультур. В южных районах страны под естественное зарастание целесообразно оставлять неудобные участки неразровненных территорий – крутые склоны, узкие ложбины, балки, где создают ремизные насаждения из плодовых деревьев и кустарников.

Однако сведение лесной рекультивации только к мероприятиям по содействию естественному возобновлению лесов на отвалах нежелательно. В процессе естественного зарастания возникают зачастую малоценные в хозяйственном отношении лиственные леса. Лесонасаждения на отвалах должны отвечать ряду требований, главное из которых – устойчивость к неблагоприятным эко-

логическим условиям, высокая мелиорирующая способность, а также достаточная эстетическая и хозяйственная ценность.

Лесная рекультивация заключается в разработке технологии выращивания леса на специфических субстратах промышленных отвалов. Разнообразие приемов и методов лесной рекультивации определяется, с одной стороны, физико-географическими условиями района промышленных разработок, с другой стороны, характером нарушения или загрязнения территории, определяемым технологическими особенностями промышленного производства.

Целью рекультивации является создание нового леса. Это основное отличие лесной рекультивации от традиционного комплекса агролесомелиоративных и лесокультурных работ. Она не может быть сведена только к мероприятиям по восстановлению или реконструкции растительного покрова. Все компоненты леса создаются заново: в процессе рекультивации формируются рельеф и толща пород, составляющих подпочву будущего леса; восстанавливается режим грунтовых вод; в соответствии с выбранным видом освоения рекультивируемых территорий создается структура почвенного и растительного горизонтов леса. Искусственно воссозданная среда формирует животный мир восстанавливаемых территорий. Таким образом, *лесная рекультивация предполагает создание и выращивание лесных культур мелиоративного, противоэрозионного, полезащитного, ландшафтно-озеленительного, санитарно-гигиенического, рекреационного и других назначений*. В конечном счете речь идет о конструировании искусственного лесного биогеоценоза.

Формирование поверхности для создания лесонасаждений на отвалах. Требования к горнотехническому этапу рекультивации включают снятие плодородного слоя почвы, селективную выемку пород вскрыши, транспортировку и использование для рекультивации плодородного почвенного слоя и потенциально плодородных вскрышных пород, формирование рельефа и структуры поверхностного слоя, создание подъездных путей и противоэрозионных сооружений.

На форму рельефа разровненной поверхности оказывают влияние про-

цессы усадки горной массы. На отвалах могут развиваться практически все виды эрозий и денудации: смыв, размыв, просадки, карст, движения грунтовой массы и т. п. Для того чтобы избежать деформации поверхности, рекомендуется проводить разравнивание гребневидных отвалов сразу же за продвижением фронта вскрышных работ. Вся система противоэрозионных мероприятий включает создание водорегулирующих защитных лесополос по границам и крутосклонным участкам разровненной территории. Разравнивание нередко приводит к образованию уплотненного горизонта на глубине 30–50 см. Переуплотнение грунтосмесей устраняют предпосадочной подготовкой грунтов.

Форма отвалов, их геометрические размеры имеют принципиальное значение. Строительство высоких многоярусных отвалов продолжается в течение всего срока действия горнодобывающего предприятия, поэтому необходимо раньше ввести рекультивацию в цикл горных работ, не ожидая завершения отсыпки отвалов. Сначала проводится определение биологической пригодности горных пород в их коренном залегании, затем подготовка оснований отвалов, формирование отвалов до проектной высоты, устройство подъездных путей и планировка поверхности, формирование устойчивых откосов в период отсыпки, нанесение потенциально плодородного грунта, уточнение агробиологических свойств грунтосмесей, устройство дренажной сети и выполнение противоэрозионных мероприятий, затем биологическая рекультивация подготовленных участков.

Требования к составу вскрышных пород. Поверхностный слой служит основой для формирования корнеобитаемого горизонта рекультивируемого участка. При проведении биологической рекультивации внимание обращается на поверхностный слой, качество которого определяет возможность создания растительного покрова, трудоемкость мелиоративных мероприятий. Состав и структура верхнего слоя определяют виды освоения рекультивируемой территории. Мощность этого слоя для выращивания древесных и кустарниковых растений должна составлять не менее 1,5–2 м. Искусственно формируемый при рекультивации верхний горизонт (Р–горизонт) создают по схеме, близкой к

природной (нижний слой – благоприятные водно-физические свойства, верхний – гумусированный горизонт).

Степень биологической пригодности грунтов устанавливается на основе физических и химических свойств пород вскрышной толщи и по наблюдениям за естественным зарастанием согласно ГОСТ 17.5.1.03-86. Практически выделяются три основные группы вскрышных пород по степени пригодности их для биологической рекультивации: пригодные (плодородные и потенциально плодородные), малопригодные, непригодные. Группы разделяются на подгруппы по физическим и химическим свойствам. К непригодным по физическим свойствам относятся сильнокаменистые скальные породы. Непригодность пород по химическим свойствам определяют, как правило, неблагоприятная реакция среды (сильно кислая или сильно щелочная) и высокий уровень засоления.

Первая группа складируется во временные отвалы и используется впоследствии для создания рекультивационного слоя. Вторая группа – основная часть горной массы отвалов, для которых характерно малое количество элементов питания растений, неблагоприятный механический состав, но возможно использование для создания лесонасаждений. Третья группа – преимущественно скальные породы.

Токсичность, дефицит влаги тормозят рост растений на отвалах. Наблюдаются резкие колебания микроклиматических показателей. Все эти обстоятельства имеют большое значение для обеспечения необходимых условий биологической, в частности лесной, рекультивации на отвалах.

Оценка пригодности нарушенных земель для лесной рекультивации. Пригодность нарушенных земель устанавливается на основе следующих факторов:

– природных физико-географических условий: рельефа, геологии, почвы, климата, растительности, гидрологии;

– хозяйственных, социально-экономических и санитарно-гигиенических условий;

– технологии и комплексной механизации горных работ, срока эксплуатации карьера и стадии развития предприятия, на котором проектируются ре-

культивационные работы;

– экономической целесообразности и социального эффекта рекультивации.

В качестве примера можно привести отвалы Подмосковного угольного бассейна с содержанием сульфидизированных пород в грунтосмесях, обусловливающих их фитотоксичность. Оценка пригодности грунтосмесей для лесной рекультивации проводится с учетом потенциального содержания в них сульфидизированных пород.

Выделяются три следующих группы грунтосмесей:

1. Слаботоксичные, в которых присутствие палеозойских сульфидизированных пород не более 20 % от общего объема поверхностного слоя мощностью в 1 м. Кислотность (pH) таких грунтосмесей от 4,0 до 8,0. На них сравнительно хорошо приживаются и растут сосна, береза и другие деревья и кустарники.

2. Токсичные грунтосмеси, в которых палеозойские сульфидсодержащие породы составляют до 40 % объема поверхностного слоя. Для этих условий подбираются наиболее устойчивые к эдафическим условиям деревья и кустарники, хотя интенсивность их роста снижается по сравнению с нормальными условиями.

3. Сильно токсичные грунтосмеси с преобладанием палеозойских пород более 40 %. Кислотность таких грунтосмесей очень высокая (pH 2,2–2,9). Содержание серы до 2 % и более, в том числе 0,5–0,9 % сульфидной. В этих условиях растения не приживаются и не растут. Эти грунтосмеси не пригодны для лесной рекультивации.

С учетом пригодности грунтосмесей для биологической рекультивации проводится определение степени годности для этих целей разровненной территории отвалов. Территории с преобладанием в поверхностном слое потенциально плодородных горных пород относятся к полностью пригодным. Пригодными для лесной рекультивации с посадкой саженцев непосредственно в грунт признаются территории, поверхность которых сложена слаботоксичными

грунтосмесями (1-я группа). На этих территориях токсичные грунтосмеси (2-я группа) должны составлять не более 1/3 площади разровненной поверхности отвала и без больших участков из сильнотоксичных грунтосмесей (3-я группа). Непригодными являются территории, на поверхности которых преобладают сильнотоксичные грунтосмеси.

Особенности роста древесных и кустарниковых пород на отвалах

Зависимость роста и развития лесокультур от состава горных пород в отвалах. Степень приживаемости и развития древесных и кустарниковых пород зависит от почвенно-грунтовых условий отвалов. Можно выделить отдельные виды растений и их группы, тяготеющие к определенным грунтосмесям (табл. 9, 10 – см. Зайцев, Моторина, Данько, 1977).

К группе пионерных видов лесной растительности относятся ольха и акация белая, которые обогащают грунты азотом, способствуют почвообразовательному процессу. Выявлена зависимость степени приживаемости от степени токсичности грунтосмесей в поверхностном слое отвалов и скорости роста.

Развитие корневой системы древесных пород и ее морфологические особенности зависят от качества грунтосмесей: для слаботоксичных характерны мелкие поверхностные корни, для токсичных – корни на глубине 20–30 см. Часто наблюдается деформация стержневого корня.

Методы мелиорации грунтосмесей и интенсификации роста лесных культур на отвалах. Для улучшения структуры и качественного состава грунтосмесей рекультивационного слоя необходим целый комплекс мероприятий по их мелиорации.

Мелиоративные меры делят на группы:

– физико-химические методы мелиорации грунтосмесей;

– обогащение грунтов с помощью внесения удобрений и посева сидератов;

– биологические методы интенсификации роста лесокультур путем введения в их состав пород азотонакопителей.

Таблица 9

Приуроченность различных древесных и кустарниковых пород к разным типам грунтосмесей в отвалах

Вскрышные породы	Древесные и кустарниковые растения		Район
	естественно поселяющиеся	успешно испытанные в лесокультурах	
Плейстоценовые делювиальные кварцевые пески	Ольха черная, акация белая, акация желтая, ива козья, терновник	Ольха, тополь, береза, лиственница тонко-чешуйчатая, сосна черная, облепиха, дуб летний, лиственница европейская, липа мелколиственная, рябина, клен остролистный	Верхняя Силезия (Польша)
Плейстоценовые тюринские глины и светлые кварцевые пески с примесью делювия главной террасы Рейна и сульфидизированных третичных пород	Ольха черная, ольха серая, акация белая, тополь, ива	Лиственница, сосна черная, ель серебская, пихта дугласова, бук, дуб, клен, вяз, граб	Рейнский бассейн (Германия)
Смесь третичных светло-желтых пород и делювия с примесью сульфидизированных плиоценовых песков	-	Ольха черная, сосна, береза, осина; в лучших условиях дуб скальный, клен, липа, дуб красный, лиственница, черемуха, тополь	Котбус, Нидерлаузитц (Германия)
Миоценовые серые глины с лессом и оксигумолитом и колчеданом	Черемуха, айлант, яблоня лесная, вишня магалебская, ольха, смородина, боярышник	Дуб зимний, дуб летний, дуб красный; универсальные породы: ольха, береза, клен белый, явор, липа, гледичия, каштан и др.	Северо-Чешский бассейн (Чехия)
Смесь третичных пород, до 30 % палеогеновых сульфидизированных пород	Ольха, тополь, акация, ива Тополь, осина, береза, дуб красный, ольха серая	Тополь Тополь, осина, береза, дуб красный, ольха серая, липа, граб, лиственница, сосна веймутова и др.	Туров, Нижняя Силезия (Польша) Лейпциг, Борна (Германия)
Спонголитовые, акрозитовые и глинистые песчаники Майкопской свиты	Акация белая, каштан обыкновенный, груша лесная, тополь, клен полевой, сосна черная, сосна кавказская	Все естественно поселяющиеся виды	Чиатура (Грузия)
Смесь древнеаллювиальных, лессовых и палеоценовых пород полтавского, киевского, харьковского ярусов с примесью сульфидизированных пород бучакского горизонта и глауконита.		Сосна обыкновенная, сосна крымская, мож-жевельник виргинский, акация белая и др. В худших условиях сосна обыкновенная, сосна Банкса, береза бородавчатая	Днепровский бассейн (Украина)
Песчаники и сильно известковистые пески верхнего мела.		Сосна обыкновенная, береза бородавчатая, лиственница европейская, тополь душистый	Брянская обл. (РФ)
Палеозойские аргиллиты, алевролиты, песчаники, глинистые сланцы и лессовидные суглинки.	Береза бородавчатая, осина, пихта, ива козья, ива русская	Лиственница сибирская, береза бородавчатая, сосна обыкновенная, облепиха крушинная, акация желтая, жимолость татарская, рябинник рябинолистный, ивы.	Кузбасс (РФ)

окончание таблицы 9

Вскрышные породы	Древесные и кустарниковые растения		Район
	естественно поселяющиеся	успешно испытанные в лесокультурах	
Пески кварцевые с глауконитом неокамского яруса нижнего мела и верхневолжские юрские отложения	Береза, осина, ива, сосна	Сосна, лиственница, береза, тополь	Московская обл. (РФ)
Алевролиты и аргиллиты меловых отложений, плотные юрские глины, пески кварцевые и карбонатные, песчаномеловые смеси, глауконитовые, слабозасоленные и слабосульфидизированные.		Сосна обыкновенная, сосна австрийская, сосна крымская, лиственница, акация белая, акация желтая, береза бородавчатая, ива-шелюга, клен ясенелистный, ольха серая, тополь, лох узколистный	Центрально-Черноземный района (РФ)
Песчаники и глинистые сланцы миссисипской эпохи карбона	Ясень зеленый, ясень американский, тополь канадский, акация белая, клен серебристый, клен сахарный, клен белый, дуб крупноплодный, дуб красный, дуб каштанолистный, маклюра оранжевая, ликвидамбар, орех черный, сосна Банкса, сосна ладанная, сосна смолистая, сосна обыкновенная, сосна ежовая, сосна желтая, сосна веймутова, амфора, ольха черная		Аппалачи, Иллинойс, Центральные штаты (США)
Смесь переотложенных четвертичных и палеозойских глин и песков тульского и бобриковского горизонтов со значительным содержанием сульфидизированных пород	Осина, ива, береза, сосна	Сосна, береза, тополь, ольха серая, клен ясенелистный, смородина золотистая, вишня, акация желтая	Тульская обл. (РФ)
Красноцветные лагунно-континентальные глины и доломитистые мергели ордовика и силура		Сосна обыкновенная, береза, дуб, лиственница, клен	Кохтла-Ярвинский бассейн (Эстония)

Таблица 10

Подбор древесных и кустарниковых пород
с учетом зонально-климатических условий и категории грунтосмесей по пригодности для произрастания растений

Древесная порода	Тайга																		Лесостепь						Степь					
	северная						средняя						южная																	
	I	II		III			I	II		III			I	II		III			I	II		III			I	II		III		
		а	б	а	б	в		а	б	а	б	в		а	б	а	б	в		а	б	а	б	в		а	б	а	б	в
Хвойные																														
Ель обыкновенная							+	–	+	–	–	–	+	–	+	–	–	–												
Ель сибирская							+	–	+	–	–	–	+	–	+	–	–	–												
Кедровый стланик	x	+	+	–	–	+																								
Лиственница европейская	x	+	+	–	–	+	x	x	x	–	–	+	x	x	x			+	x	x	x	–	–	+						
Лиственница сибирская	x	x	x	–	–	+	x	x	x	–	–	+																		
Лиственница даурская	x	x	x	–	–	+	x	x	x	–	–	+																		
Можжевельник							+	+	+				+	+	+			+	x	x	+	–	–	–						
Сосна обыкновенная	x	+	+	+	+	+	x	x	+	+	x	x	x	x	+	+	x	x	x	x	+	+	x	+	x	x	+	+	x	x
Сосна черная																			+	+	+	+	x	+	x	x	+	+	x	x
Сосна крымская																			x	x	+	–	x	x	x	x	+	+	x	x
Сосна меловая																			–	–	–	–	x	–	–	–	–		x	
Лиственные																														
Акация белая																			x	x	x	x	x	+	x	x	x	+	x	+
Береза бородавчатая	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Береза пушистая																			x	x	x	x	x	x						
Вяз перистоветвистый							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	–	+	+	–	–	x	–	+	+	–	–
Груша обыкновенная																			+	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–
Граб обыкновенный																			+	+	+	–	–	–						
Дуб черешчатый													+	+	+	–	–	–	+	+	+	–	–	–						
Ива белая																			+	x	+	+	–	–	+	x	+	+	–	–
Ива козья	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ива корейская	x	x	x			x	x	x	x			x	x	x	x			x												
Клен остролистный													+	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–						

Продолжение табл. 10

Древесная порода	Тайга																		Лесостепь						Степь					
	северная						средняя						южная																	
	I	II		III			I	II		III			I	II		III			I	II		III			I	II		III		
		а	б	а	б	в		а	б	а	б	в		а	б	а	б	в		а	б	а	б	в		а	б	а	б	в
Клен полевой							x	+	+	x			x	+	+				x	+	+	+			x	+	+	+		
Липа мелколистная													+	–	+	x			+	–	+				+	–	+			
Липа крупнолистная										+						x			+		+									
Ольха серая							x	x	x		+	+	x	+	x	+	+	+	x	+	x	x	+	+						
Ольха черная										+			x	+	x	–	+	+	x	+	x	x	+	+	x	+	x	x	+	+
Осина							x	x	x			x	x	x	x	x		x	x	x	x	+								
Рябина обыкновенная													+	+	+	+			x	+	+	–								
Тополь душистый	x	x	x	+	–	x	x	x	x		–	x	x	x	x	+	–	x	x	x	x	x	–	x						
Тополь черный													x	x	x				x	x	x	+			x	x	x	+		
Тополь сибирский													x	x	x				x	x	x	+								
Тополь канадский																			+	x										
Тополь пирамидальный																			+	x										
Тополь пионер																			+	x										
Ясень зеленый																			x	–	x	–			x	–	x	–		
Яблоня лесная																			+	–	–	–			+	–	–	–		
Кустарники																														
Абрикос обыкновенный																									x	x	x	+		
Амфора кустарниковая																									x	x	x	+		
Арония черноплодная													x	x	x				x	x	x	x								
Акация желтая							x	x	x	+	–	+	x	x	x	+	–	+	x	x	x	x	–	x	x	–	+	+	–	+
Боярышник сибирский													+						+											
Барбарис сибирский													x	x	x				x	x	x									
Бузина красная																									x	x	x			
Бирючина обыкновенная													+	+	+				+	+	+				+	+	+			
Вишня войлочная																			+	+	+	+			+	+	+			
Вишня магалебская																			+	+	+				+	+	+			
Дерен белый													x	x	x				x	x	x	+								
Жимолость татарская																			+	+	+				+	+	+			
Калина обыкновенная																			+	+	+									

окончание таблицы 10

Древесная порода	Тайга																		Лесостепь						Степь					
	северная						средняя						южная																	
	I	II		III			I	II		III			I	II		III			I	II		III			I	II		III		
		а	б	а	б	в		а	б	а	б	в		а	б	а	б	в		а	б	а	б	в		а	б	а	б	в
Кизильник черноплодный													x	x	x				x	x	x									
Лох узколистный													x	x	x	x			x	x	x	x	+		x	x	x	x	+	
Лещина обыкновенная																			x	x	x	+			x	x	x	+		
Облепиха крушиновая													x	x	x	x			x	x	x	x	+		x	x	x	+		
Ольховник кустарниковый	x	x	x	x			x	x	x	x			x	x	x	x			x	x	x	x								
Свидина																			+	+	+	+			+	+	+	+		
Скумпия																			+	+	+				+	+	+			
Смородина золотистая							x	x	x	+			x	x	x	+			+	+	+	+			+	+	+	+		
Спирея калинолистная													x	x	x	+			x	x	x	+			x	x	x	+		
Тамариск четырехтычинковый																									x	x	x	+		
Черемуха обыкновенная							x		x	+			x		x	+			x		x	+			x		x	+		
Шиповник коричный													x	x	x				x	x	x									
Шиповник собачий																			x	x	x				x	x	x			
Шелюга																			+	x	x		–							

Принятые обозначения:

– Пригодность лесных пород: x – вполне пригодная; + (<<плюс>>) – относительно пригодная; – (<<минус>>) – не рекомендуются; отсутствие значка – нет сведений.

– Категории грунтсмесей по пригодности для произрастания растений: I – потенциально-плодородные грунтосмеси; IIа – пески; IIб – тяжелые глины; IIIа – фитотоксичные грунтосмеси; IIIб – карбонатные горные породы; IIIв – скальные, крепкие горные породы.

Физические методы. Добавление в грунтосмесь гранулометрических фракций для усреднения механического состава. Это необходимо при мелиорации несвязных кварцевых песков и тяжелых плотных глин (больше 60 % содержание фракции менее 0,01 мм). Предельное минимальное содержание глинистой фракции в песках для роста и развития деревьев и кустарников 4 %. Лимстром считает лесную рекультивацию перспективной при содержании глинистой фракции в грунтосмесях не менее 15 % (см.: Limstrom, 1960). Дозы мелиорантов значительны, и метод очень дорогостоящий. Для усреднения механического состава 30-сантиметрового слоя песчаных почв требуется 600–1000 $м^3$ на 1 га тяжелого суглинка.

На токсичных грунтосмесях важное значение имеет создание экранирующих слоев. В Подмосковном угольном бассейне при лесной рекультивации мощность экрана должна быть не менее 1,5–2,0 м.

Снижение затрат на подготовку поверхности отвалов для биологической рекультивации возможно при селективной отсыпке потенциально плодородных пород в процессе вскрыши, их хранении и транспортировке на рекультивируемые отвалы.

Химические методы. Противоэрозионная защита легко распыляющегося материала при применении структурообразователей (органоминеральные соединения). Нейтрализация кислотности пород, содержащих сульфиды тяжелых металлов и др. В качестве мелиорантов используются негашеная известь + ил, бытовые шламы, зола тепловых электростанций, удобрения (фосфоритная мука, аммиачная вода и др.). Как структурообразователи при противоэрозионном облесении отвалов применяются 5 %-я эмульсия латекса СКС–50 ПГ и СКС–65 ПГ в дозе 2,5–3,5 т/га.

В США прошли испытание и нашли применение различные смолы, цемент и известковое молоко, смесь азокерита и смолы, отходы перегонки нефти, битуминозные препараты, лигнитовый сульфат соды с экстрактом коры деревьев и аммиачной водой и многие другие.

Применение минеральных и органических удобрений. Это эффективное

средство повышения качества лесных культур. В опытах использовались азотные, азотно-фосфорные и азотно-фосфорно-калийные удобрения. Для обогащения грунта питательными веществами применяется внесение микоризосодержащей почвы, лесной подстилки, мульчи из сена, листьев, веток. Удобрения вносят машинами и гидроспособом. Используют посевы сидератов. Для обогащения грунтосмеси органическим веществом, предотвращения эрозий и дефляций используют посев в междурядьях бобовых культур. Злаковые не используются, т. к. сильно иссушают поверхностный слой почвы. Основные мелиоранты – бобовые травы, люпины и донники.

Необходимо проводить предпосадочную подготовку по системе сидерального пара и выращивать люпины и донники до смыкания крон лесокультур. Не следует брать люцерну. Люпин накапливает азот в достаточной для растений форме и повышает ферментативную активность грунтов, но он может засорить посадки.

Интенсификация роста лесных культур путем введения в их состав древесных пород – азотонакопителей. Фиксировать атмосферный азот и переводить его в гидролизные соединения могут немногие виды растений (ольха, акация, карагана, облепиха).

Опытами доказана эффективность их использования для лесной рекультивации. Азотное голодание – это мощное препятствие для поселения и роста растений на обнаженных и техногенных субстратах, поэтому выращивание растений-азотфиксаторов – обязательное условие биологического этапа рекультивации. Использование ольхи в лесных культурах приносит высокий экономический эффект за счет экономии средств на ручных уходах в рядах.

Лесные культуры на отвалах

Виды лесонасаждений на отвалах. Оптимальным считается лесонасаждение, где наиболее полно использовано потенциальное плодородие почвы для роста древесных пород, получены наибольшие запасы древесины, проявляются полезные свойства леса: климаторегулирующие, водоохранные, почвозащит-

ные, санитарно-гигиенические и др.

В мировой лесорекультивационной практике сложилась особая форма ведения лесного хозяйства на промышленных отвалах – создание предварительных мелиоративных насаждений из быстрорастущих нетребовательных пород и постепенная замена их насаждениями из более ценных пород. Мелиоративные породы – это ольха, акация белая, тополя. Существует трехмерное лесоводство – создание устойчивых экосистем, заменяющих менее продуктивную естественную растительность (обширные лесополосы, перемежающиеся с пастбищными угодиями).

Подбор древесных и кустарниковых пород на отвалах и типы лесных культур. Подбор пород строят по зональному географическому принципу, с учетом биологической пригодности грунтов, указанной в табл. 10 и 11 (см. об этом: Зайцев, Моторина, Данько, 1977).

Л. П. Баранник (1978) предлагает определять такие показатели биологической устойчивости лесных пород, как морозостойкость, засухоустойчивость, требовательность к почвенному плодородию, быстрота роста, мелиоративные качества, и выражает эти свойства в баллах (высокие, средние, низкие и т. д.), которые использованы для биоэкологической характеристики древесных пород в табл. 11.

Морозостойкость: 1 – обмерзаний не наблюдается; 2 – частичное обмерзание в первые годы роста на не покрытых снегом поверхностях; 3 – обмерзание молодых побегов, возвышающихся над снегом.

Засухоустойчивость: 1 – высокая (ксерофиты); 2 – менее высокая (мезоксерофиты); 3 – средняя (мезофиты); 4 – низкая (мезогигрофиты).

Требовательность к почвенному плодородию: 1 – нетребовательные (олиготрофы); 2 – среднетребовательнные (мезотрофы); 3 – повышенной требовательности (мезомегатрофы).

Быстрота роста: 1 – быстрорастущие (прирост на 3–4-й год более 50 см); 2 – быстрорастущие кустарники; 3 – умеренно растущие деревья и кус-

тарники (прирост на 3–4-й год 20–50 см); 4 – медленно растущие деревья и кустарники (прирост не превышает 20 см).

Мелиоративные качества: 1 – высокая степень (быстрорастущие корнеотпрысковые виды, азотонакопители); 2 – средняя степень (обогащают грунты листовым опадом, имеют разветвленную корневую систему); 3 – низкая степень (медленно растущие виды или виды с листовым опадом, создающим грунтовый гумус).

Биологическая устойчивость лесных пород: 1 – очень высокая, 2 – высокая, 3 – умеренная, 4 – низкая. Она вычисляется как средний показатель баллов биоэкологической характеристики древесных пород (см. табл. 11).

В соответствии с биологической характеристикой выделяется группа пионерных видов: лиственница, сосна, береза, тополь, ива, ольха, акация.

Токсичные породы с высокой кислотностью переносят акация, береза, ольха, тополь, лох, облепиха, сосна, ива, клен, осина, смородина, спирея, тамариск. А карбонатные щелочные – сосна, акация, береза, клен, ольха, лох, облепиха.

Сравнительно большой выбор видов позволяет создавать на отвалах сложные по составу насаждения различных типов и назначения – мелиоративные, противоэрозионные, водорегулирующие лесополосы, ремизные, лесопарковые и массивные эксплутационные.

<u>Мелиоративный тип лесокультур для токсичных сульфидсодержащих грунтосмесей.</u> Мелиоративный тип лесных культур разрабатывается для крайне неблагоприятных в биологическом отношении отвалов, сложенных токсичными грунтосмесями. На них можно использовать сосну, березу, тополь, ольху, акацию, но требуется мелиорация грунта. Эффективны экранирование непригодных участков слоем суглинка либо известкование с глубоким рыхлением и промывкой. Обязательна подготовка грунтосмесей по системе сидерального пара с посевами донника. Необходимо выращивать не чисто сосновые лесонасаждения, а смешанные сосново-березовые лесокультуры с ольхой.

Таблица 11

Подбор древесных и кустарниковых пород для разных типов лесонасаждений с учетом биологической устойчивости лесных пород

Древесная порода	Биоэкологическая характеристика					Тип лесонасаждения					
	Морозостойкость	Засухоустойчивость	Требовательность к плодородию	Быстрота роста	Мелиоративные свойства	Мелиоративный	Противоэрозионный	Водорегулирующие лесополосы	Ремизный	Лесопарки	Эксплуатационный
Хвойные											
Ель обыкновенная	2	3	2	3	3					+	+
Ель сибирская	2	3	2	3	2					+	+
Кедровый стланик	1	1	1	4	3		+		+		
Лиственница европейская	1	2	1	1	2		+			+	+
Лиственница сибирская	1	2	2	1	2		+			+	+
Лиственница даурская	1	1	1	2	2		+			+	+
Можжевельник	1	1	1	3	3		+		+	+	
Сосна обыкновенная	2	1	1	3	3	+	+			+	+
Сосна черная	3	1	1	3	3		+				
Сосна крымская	3	1	1	3	3	+					
Сосна меловая	3	1	1	3	3		+				
Лиственные											
Акация белая	3	1	1	1	1	+	+	+	+	+	
Береза бородавчатая	1	1	1	3	2	+	+	+	+	+	+
Береза пушистая	1	3	1–2	3	2	+	+	+	+	+	+
Вяз перистоветвистый	2	2	3	2	2	+	+	+		+	
Груша обыкновенная	3	2	3	3	3			+	+	+	
Граб обыкновенный	3	1	2	2	2	+	+	+		+	
Дуб черешчатый	3	1	2	4	3					+	+
Ива белая	3	2	1	1	1	+	+	+	+		
Ива козья	1	2–3	1–2	2	1	+	+	+	+		
Ива корейская	1	2–3	1–2	2	1	+	+		+		
Клен остролистный	2	2	3	3	2			+		+	+
Клен ясенелистный	2	2	2	2	3		+	+		+	

Продолжение табл. 11

Древесная порода	Биоэкологическая характеристика					Тип лесонасаждения					
	Морозостойкость	Засухоустойчивость	Требовательность к плодородию	Быстрота роста	Мелиоративные свойства	Мелиоративный	Противоэрозионный	Водорегулирующие лесополосы	Ремизный	Лесопарки	Эксплуатационный
Клен татарский	1	1	2	2	2	+	+	+		+	
Клен полевой	2	3	2	3	2		+	+		+	
Липа мелколистная	1	3	3	4	2	+				+	+
Липа крупнолистная										+	+
Ольха серая	2	2–3	1–2	2	1	+	+	+	+		
Ольха черная	2	2–3	2–3	2	1	+	+	+	+		
Осина	1	2–3	2	1	2	+	+	+			
Рябина обыкновенная	3	3	2–3	3	2	+		+	+	+	
Тополь душистый	1	2	1	1	1	+	+	+		+	+
Тополь черный	2	1	1	1	1	+	+	+			
Тополь сибирский	1	2–3	2	1	1	+	+	+			
Тополь канадский						+	+	+			
Тополь пирамидальный						+	+	+			
Тополь пионер						+	+	+			
Ясень зеленый	2	2	2	3	3	+	+	+		+	
Яблоня лесная								+	+	+	
Кустарники											
Абрикос обыкновенный						+	+	+	+	+	
Амфора кустарниковая						+	+	+	+		
Арония черноплодная	3	2–3	3	4	3	+		+	+		
Акация желтая	1	2	1–2	2	1	+	+	+	+	+	
Боярышник сибирский								+	+		
Барбарис сибирский	2–3	2	2	4	3	+	+	+	+	+	
Бузина красная	1	2	2	3	2		+	+	+	+	
Бирючина обыкновенная							+	+	+		
Вишня войлочная	2	2	2	4	3			+	+		
Вишня магалебская								+	+		
Дерен белый	1	1–2	2	3	2			+	+		

окончание таблицы 11

Древесная порода	Биоэкологическая характеристика					Тип лесонасаждения					
	Морозостойкость	Засухоустойчивость	Требовательность к плодородию	Быстрота роста	Мелиоративные свойства	Мелиоративный	Противоэрозионный	Водорегулирующие лесополосы	Ремизный	Лесопарки	Эксплуатационный
Жимолость татарская	1	1–2	2	3	1–2	+	+	+	+	+	
Калина обыкновенная								+	+	+	
Кизильник черноплодный	1	1	2	4	2			+	+	+	
Лох узколистный	2	2	2	4	1	+	+	+	+		
Лещина обыкновенная						+		+	+	+	+
Облепиха крушиновая	1	2	1–2	2	1		+	+	+		
Ольховник кустарниковый	1	2–3	2	4	1–2	+	+	+	+		
Свидина							+	+			
Скумпия						+	+	+	+		
Смородина золотистая	2	2	2	3	2	+	+	+	+	+	+
Спирея калинолистная	1–2	2	2	3	2	+	+	+	+	+	
Тамариск четырехтычинковый											
Черемуха обыкновенная								+	+	+	
Шиповник коричный	2	2	2	3	2	+		+	+		
Шиповник собачий											
Шелюга							+	+	+		

Таким образом подбирать тип лесных культур нужно с учетом распределения участков грунтосмесей различной степени токсичности на поверхности отвалов.

Лесные культуры на отвалах нетоксичных рыхлых пород. На нетоксичных вскрышных грунтах можно выращивать лесные насаждения различного целевого назначения: это лесопарки, эксплутационные, защитные, мелиоративно-озеленительные, подготовительные ремизные и другие насаждения. Для всех видов обязательным является выполнение мелиоративных и почвозащитных функций.

Во всех почвенно-климатических зонах на рыхлых грунтах легкого механического состава без сорной растительности возможно выращивание лесной культуры без подготовки грунта. На грунтах тяжелого механического состава с сорняками сплошная вспышка обязательна. Проектированию и созданию лесных культур должно предшествовать агротехническое обследование и крупномасштабное картирование поверхности отвалов.

Специфика лесной рекультивации в зависимости от форм разрушения земной поверхности и физико-географических условий. Физико-географические условия определяют особенности технологии горных работ и выбор вида рекультивационных мероприятий.

Горная местность. Здесь разнообразие форм разрушения земной поверхности особенно велико. Часты оползни, сели, снежные лавины. Необходимы следующие рекультивационные мероприятия:

1.Стабилизация откосов.

2.Изоляция горных выработок с целью предотвращения загрязнений прилегающей территории.

3.Восстановление растительного покрова.

Для стабилизации отвалов используют химические структурообразователи, нанесение на поверхность плодородных грунтов, посев многолетних трав и посадка быстрорастущих деревьев и кустарников.

Торфяные разработки. Торфяники используют для создания сельскохо-

зяйственных угодий, продуктивных лесонасаждений, прудовых рыбоводческих хозяйств, спортивно-охотничьих и рекреационных зон. Лесную рекультивацию проводят для улучшения качественного состава лесов торфоразработок (это например, реконструкция малоценных березово-осиновых зарослей хвойными породами).

Мелкие карьеры строительных материалов. Самый массовый объект рекультивации. Разработана их классификация:

– по занимаемой площади: до 0,5–2,0 га, 2–5 га, 5–10 и более 10 га;

– по составу горных пород: каменные, известняковые, песчаные, гравийные, глинные, смешанные;

– по глубине залегания грунтовых вод: затопляемые, временно обводненные, сухие;

– по форме отработанной поверхности: карьеры с плоским дном, со ступенчатым дном, с отвалом на дне карьера, с внешними отвалами.

Карьеры в черте города используют для застройки. При их рекультивации рекомендуется посадка сосны. Желательно применение органических и минеральных удобрений.

Шахтные отвалы и терриконики. Это трудные объекты рекультивации. Особые условия для нее создают резко отрицательные физико-химические свойства грунта (pH, токсичность, термическая активность), задымленность воздуха, дефицит влаги. В поверхностном слое наблюдаются сильный нагрев и самовозгорание грунтосмесей.

М. Л. Рева и В. И. Бакланов (1972) выделяют три стадии процесса выщелачивания горных пород и зарастания:

1. Окисление, высокая кислотность, мало пылеватых частиц, термическая активность.
2. Вымывание продуктов окисления, поселение пионерных видов.
3. Массовое поселение растений, образование фрагментарных почв.

Основная агротехническая мера – нарезка террас, посадка вручную деревьев и кустарников. Лесную рекультивацию целесообразно приурочить к третьей стадии.

Гидроотвалы. Особенностью этих техногенных объектов является образование слоистой структуры грунтосмесей вследствие неравномерного оседания частиц горных пород. Рекультивация возможна после ухода воды из отвала.

Различают два этапа рекультивации:

1) в процессе намыва отвала;

2) после полной или частичной стабилизации поверхностного слоя в 2–3 м.

Гидроотвалы пригодны для насаждений тополя и сосны.

Отработанные россыпи и дражные полигоны. Рекультивация проводится для решения следующих задач:

– создание благоприятной среды обитания в горнопромышленных районах;

– предотвращение загрязнения рек;

– расширение площади с.-х. угодий.

Естественное зарастание отвалов проходит довольно энергично.

Можно рекомендовать регулируемое естественное восстановление лесных фитоценозов. Техническую рекультивацию следует проводить поэтапно, по мере отработки участков и до восстановления древесной растительности. Естественно легко поселяются на этих отвалах береза, осина, ольха, ива, ель, пихта, сосна.

Опыт лесной рекультивации в Кузбассе

В практике лесной рекультивации в европейской части страны предпочтение отдается посадке сеянцами или даже крупномерными саженцами древесных пород, и считается, что посевы малопригодны для облесения отвалов (см.: Баранник, Калинин, 1976). Однако наблюдения за естественным зарастанием отвалов угольных разрезов Кузбасса свидетельствуют о том, что при близком

расположении плодоносящих деревьев, а следовательно, достаточном налете семян, на многих отвалах происходит удовлетворительное заселение древесной растительностью. Это позволяет предполагать возможность создания лесных культур в подобных условиях непосредственным высевом семян.

В 1964 г. Новокузнецким лесхозом была посеяна сосна на отвалах Листвянского разреза, сложенных преимущественно из песчаников. Грунты отвалов ко времени посева частично подверглись физическому выветриванию, при этом в поверхностном слое преобладали щебенистые и каменистые фракции на прочном цементе, а мелкозем оказался смытым вглубь и вниз по склону. Посев производился вразброс, без заделки, ранней весной по снегу, с нормой высева семян 800 г на 1 га. В 9-летнем возрасте средняя высота сосенок равнялась 185 см, что соответствует бонитету II. Анализ роста модельного дерева показывает, что происходит ежегодное нарастание текущего и среднего прироста по высоте, свидетельствующее о благоприятных условиях роста.

На участке четко прослеживается зависимость приживаемости и энергии роста сосен от местоположения: на вершинах и западных склонах отвалов сохранились только единичные деревца – низкорослые (до 1 м) и с неправильной флагообразной формой кроны; на восточных склонах и в понижениях, т. е. в местах снегонакопления и щадящего ветрового режима, растет от 1200 до 3400 сосен на 1 га; распределение деревьев на площади неравномерное, куртинами.

Проведенный опыт, несмотря на низкую сохранность сосны на отдельных участках, позволяет сделать вывод о возможности облесения отвалов подобного типа путем посева. В пользу посевов говорит и то обстоятельство, что на грунтах с высокой каменистостью посадка обычными приемами вообще невозможна, посевы к тому же намного дешевле посадок.

На отвалах из глинистых пород (аргиллитов) производился посев сосны ручной сеялкой. Всходы появились нормальные, однако в течение трех последующих лет происходил значительный отпад из-за выжимания всходов ранней весной, вымывания, а также по другим причинам. Прирост был также очень низкий: 1–2 см в год. И только на четвертый год сохранившиеся сеянцы дали

прирост около 10 см, приобрели размеры и форму обычных двухлетних сеянцев из питомника.

На отвалах посевы не испытывают конкуренции со стороны сорных трав, которые являются основным препятствием применения посевов в лесокультурной практике в обычных лесных условиях. Недостатком посевов является то, что они в большей мере, чем посадки, зависят от микроклиматических условий на отвалах, на несколько лет (до 3–4) позже закрепляют поверхность отвалов и образуют лесную среду. На глинистых, подверженных эрозии отвалах всходы часто смываются и выжимаются морозами, не успев окрепнуть.

Хотя на отвалах и возможен посев лесных культур, тем не менее основным способом облесения отвалов остается посадка. Лучшие результаты получаются при посадке двух-, трехлетними сеянцами хвойных и одно-, двухлетними сеянцами лиственных пород. Тополь следует высаживать однолетними укорененными черенками, ивы – кольями длиной 30–40 см. Посадка крупномерными саженцами (четырех-, шестилетними) не оправдывает себя, так как, во-первых, это во много раз удорожает стоимость работ, а во-вторых, эти саженцы, сформировавшиеся на плодородных почвах, при пересадке на малоплодородный субстрат отвалов плохо приживаются, длительное время болеют, пока не приспособятся к новым условиям произрастания.

Учитывая низкое плодородие грунтов отвалов, посадочный материал для их облесения следует выращивать в питомниках на бедных почвах. В этом случае корневая система сеянцев будет более сильно развита (чем надземная часть) и лучше приспособлена для пересадки в грунт отвалов.

При подборе древесных и кустарниковых пород и составлении проектов лесных культур предпочтение следует отдавать смешанным насаждениям, которые, как правило, более устойчивы, чем из одной породы, полнее используют почвенные и атмосферные ресурсы среды. В состав посадок желательно вводить до 30–50 % кустарников. Необходимо, однако, заметить, что облепиху не следует смешивать с другими древесными породами, так как она дает на отвалах высокую энергию роста и через 4–5 лет вытесняет все другие виды.

Можно рекомендовать такие схемы смешения лесных культур.

Посадка на разровненных участках и пологих склонах
(исключая южные экспозиции), а также на плоских транспортных отвалах

1. Лц–к–Лц–к–Лц Сосны – 33 %, лиственницы – 17 %, кустарников – 50 %
к–к–к–к–к
С–С–С–С–С
С–С–С–С–С
к–к–к–к–к
Лц–к–Лц–к–Лц
2. Б–Б–Б–Б–Б Сосны – 33 %, березы – 33 %, кустарников – 33 %
к–к–к–к–к
С–С–С–С–С
С–С–С–С–С
к–к–к–к–к
Б–Б–Б–Б–Б
3. Лц–к–Лц–к–Лц Лиственницы – 30 %, березы – 25 %, кустарников – 45 %
к–к–Лц–к–к–Лц
Б–Б–Б–Б–Б
Лц– к–к–Лц–к–к–Лц
Лц–к–Лц–к–Лц–к

Посадка в неблагоприятных условиях
(на ветроударных и склонах южных экспозиций, на вершинах)

Б–Б–Б–Б–Б Березы – 50 %, кустарников – 50 %
к–к–к–к–к
Б–Б–Б–Б–Б
к–к–к–к–к

На участках лесной рекультивации, предназначенных для создания зон отдыха и имеющих ландшафтное назначение, желательно куртинное смешение древесно-кустарниковых пород, величина отдельных куртин может достигать 0,1–0,3 га.

Размещение саженцев на площади устанавливается в каждом конкретном случае в зависимости от биологических свойств высаживаемых пород, лесопригодности грунта, назначения создаваемых лесопосадок, особенностей рельефа участка.

Предпочтительнее равномерное распределение саженцев по площади (например, 1 х 1 м или 1,0 х 1,2 м). В этом случае быстрее происходит смыка-

ние крон и закрепление поверхности отвалов. Однако в случае проведения механизированных работ ширина междурядий увеличивается до 1,5–2 м, а в рядах расстояние между растениями соответственно сокращается до 0,5–0,7 м. Плодово-ягодные облепиховые плантации следует создавать с шириной междурядий 2–2,5 м, высаживая на 1 га 2–2,5 тыс. саженцев.

В большинстве случаев ухода за лесопосадками на отвалах (прополка и рыхление) не требуется. Травянистая растительность на свежеотсыпанных или недавно разровненных отвалах практически отсутствует. Если и появляется сорно-полевая растительность (полынь, лебеда, осот, донник), то она обычно не образует густого травостоя и не угнетает древесную растительность. И только в исключительных случаях, при большой густоте сорных трав, необходимо производить прополку лесных культур.

Рыхление требуется на тяжелых глинистых грунтах, где возможно образование на поверхности плотной корки. На отвалах из аргиллитов, алевролитов, песчаников, образующих щебенисто-пластинчатые каменистые грунтосмеси, поверхностный слой породы обычно бывает достаточно рыхлым.

Создаваемые на отвалах лесонасаждения имеют преимущественно защитное, санитарно-гигиеническое и рекреационное значение, но возможно и лесохозяйственное их использование.

Естественное восстановление лесных фитоценозов на Урале

Площадь промышленных отвалов в Свердловской области составляет свыше 60 тыс. га. Особенно велики нарушения земель вызываемые горнодобывающими предприятиями, в том числе угольными.

В 1970-х гг. на отвалах объединения «Вахрушевуголь» сотрудниками лаборатории промышленной ботаники Уральского госуниверситета им. А.М. Горького проведены широкомасштабные изыскательские (предпроектные для института «Уралгипрошахт») и исследовательские работы. Были рекомендованы способы оптимизации техногенного ландшафта с конкретной плановой привязкой:

1. Естественное восстановление лесных фитоценозов без вмешательства человека.

2. Самозарастание спланированной бульдозерами поверхности без проведения биологического этапа рекультивации.

3. Посадка (или подсадка 1,5–2,0 тыс. шт./га) саженцев сосны без предварительной планировки поверхности отвалов.

4. Сельскохозяйственная рекультивация, горнотехнический этап которой включал планировку поверхности, а биологический – посев овса и многолетних трав (преимущественно тимофеевки луговой и костреца безостого) с применением комплекса минеральных удобрений.

Особенно подробно изучался процесс естественного восстановления растительности на отвалах в зависимости от конкретных экологических условий, в том числе лесных фитоценозов (см. Лукьянец, 1974 а; 1974 б, 1975).

Проведено подробной полевое обследование Южного Веселовского отвала. Выбор объекта определялся тем, что этот отвал является характерным для Серовского буроугольного района. На его площади были опробованы три (первый – третий) способа оптимизации техногенного ландшафта из четырех выше приведенных.

Были выделены три участка:

Участок естественного восстановления лесного фитоценоза (*участок самозарастания*).

Участок с проведением посадки 2-летних саженцев сосны (*посадки*).

Участок, спланированный бульдозером без проведения биологического этапа рекультивации (*спланированный участок самозарастания*).

Характеристика отвала. Южный Веселовский отвал площадью 154 га несколько вытянут с юго-востока на северо-запад. Отсыпка его проводилась с 1958 по 1966 г. железнодорожным транспортом в виде террас, каждая из которых соответствует одногодичной засыпке. Поверхность отвала возвышается в западном и северо-западном направлении и имеет форму амфитеатра. Территория наиболее старого краевого участка засыпки 1958 г. имеет высоту 2 м над

окружающей местностью, а самого молодого (засыпка 1966 г.) – 20 м. Отвал расположен в 1,5 км от Веселовского разреза, окружен лесом, что благоприятно сказывается на формировании растительности, так как на отвалах, окруженных лесом и доступных для заноса семян, при прочих равных условиях процессы самозарастания проходят интенсивнее и быстрее.

Общая характеристика начального процесса естественного зарастания отвала

Интенсивность естественного зарастания отдельных участков находится в прямой зависимости от их возраста. В 1971 г. на самом старом из них сформировался лесной фитоценоз с доминированием в верхнем ярусе сосны обыкновенной. Деревья расположены группами, перемежающимися с пространствами, занятыми травянистой растительностью. Сомкнутость крон в группах составляет 0,8–1,0, а общее проективное покрытие территории участка древесной растительностью – лишь 30–40 %. На 1 га насчитывается свыше 5,9 тыс. особей всходов и подроста сосны (подрост – 38 особей на 100 м^2, $h_{ср.}$ – 1,79 м; всходы – 21 особь на 100 м^2, $h < 0,5$ м). Доля сосны обыкновенной колеблется от 30 до 80 %, но эдификатором лесного сообщества на этом участке во всех случаях является сосна. Травянистая растительность – разнотравно-бобово-злаковая. Из злаков наиболее обильны мятлик обыкновенный, регнерия волокнистая и щучка дернистая.

В 2000 г. на этом участке (участок самозарастания) описан лесной фитоценоз с хорошо выраженными ярусами: древесным, кустарниковым и травянистым (табл. 12, 13, 14). В пониженных местах, где откос отвала практически сравнялся с уровнем окружающего леса, условия для произрастания растений наиболее благоприятны. Здесь единично встречаются самые высокие сосны ($h_{ср} = 18$ м) возрастом 40–41 год с максимальным диаметром ствола 37 см, средний диаметр стволов – 14,7 см (пределы 6–24 см). Встречаются единично взрослые хорошо развитые березы, ивы, ели, лиственницы. Плотность взрослых деревьев 21–31 особь на 100 м^2, в т. ч. сосны 16–18 особей на 100 м^2. Относительно слабо развит ярус подроста – около 5 особей на 100 м^2, всходы на этих

участках составляют от 12 до 47 особей различных видов деревьев на 100 $м^2$, преобладает кедр (от 10 до 22 особей на указанную площадь). Частично большое число всходов объясняется групповым произрастанием сосны сибирской, когда всходы появляются из семян одной шишки, занесенной кедровкой.

На данном участке хорошо развит кустарниковый ярус. Описано 9 видов кустарников, причем ракитник русский и шиповник иглистый с высоким обилием (cop_2). Кустарниковый ярус слагают черемуха, малина, багульник болотный и единично встречаются смородина красная, можжевельник обыкновенный, жимолость, рябина.

На участке самозарастания достаточно хорошо развит травянистый ярус, причем большинство видов относятся к типично лесным: грушанки – круглолистная и малая, ортилия однобокая, брусника, костяника обыкновенная, княженика, медуница неясная, любка двулистная, подъельник обыкновенный. Появился типичный лесной вид – плаун булавовидный. Проективное покрытие травянистыми видами составляет 30–60 %. Остальная площадь покрыта мхами и лишайниками, опадом хвои.

В 1971 г. на пятилетнем участке (засыпка 1966 г.) общее проективное покрытие поверхности растительностью не превышало 10–15 %. Растения встречались единично, и распределение их было более или менее равномерное, хотя проявлялась тенденция более интенсивного зарастания микропонижений. Фон создавал кипрей узколистный (обилие sp). Единично встречались сосна, ель, береза высотой 10–15 см. Растительность этого участка находилась на стадии пионерной смешанной растительной группировки.

Таблица 12

Обилие кустарников на учетных площадках (100 м^2) Южного Веселовского отвала

Название вида	Номер участка								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Черемуха	Sp			Sp			Sol		Sp
Смородина	Sol								
Малина	Cop_1	Cop_1	Sp				Cop_1	Cop_1	Sp
Можжевельник	Sol	Sp	Sp	Sol	Sol	Sol	Sp	Sol	Sp
Ракитник	Cop_2	Cop_1	Cop_1	Sp	Sp	Sp	Sp	Cop_1	Cop_1
Шиповник	Cop_2	Cop_2	Cop_2	Sp	Sp	Cop_1	Cop_2	Cop_2	Cop_2
Жимолость	Sol	Sol	Sol				Sol	Sol	Sol
Багульник	Sp	Sp	Sol						
Рябина	Sol	Sp	Sol		Sol	Sol	Sp	Sp	Sp

Таблица 13

Морфометрические показатели сосны обыкновенной (на учетных площадках 100 м^2) Южного Веселовского отвала

№ участка	Возраст (*max*), лет	Высота (*max*), м	Диаметр кроны (*max*), м		Диаметр ствола (min – max), см	Диаметр ствола средний, см	σ диаметра	Cv диаметра, %
			С–Ю	З–В				
1	41	18	4,0	4,8	4–25	14,7	6,6	45
2	41	17	7,0	7,2	6–24	15,3	5,4	38
3	40	15	7,2	7,0	1–37	9,2	9,2	100
4	33	11	3,0	3,5	4–19	10,0	4,5	44
5	33	12	2,0	2,0	2–16	9,8	4,3	43
6	33	8	3,5	4,0	1–15	4,9	3,8	77
7	31	17	4,5	5,3	2–22	10,1	6,1	60
8	30	13	4,5	4,8	1–20	6,9	5,6	81
9	33	17	5,5	5,7	2–26	8,3	6,9	82

Таблица 14

Характеристика плотности взрослых особей древесных видов по участкам Южного Веселовского отвала

Вид	Количество экземпляров на 100 м^2 по участкам								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сосна	19	16	18	30	36	54	22	40	30
Береза	4	1	5	1	6	4	10	8	9
Ива	4	1	0	0	0	0	0	5	2
Осина	0	1	0	7	6	1	3	2	8
Всего	31	21	24	39	48	59	38	57	54

В 2000 г. на спланированном участке самозарастания сформировался лесной фитоценоз. Состав древесного яруса по видовому составу довольно разнообразен. При небольшом преобладании сосны обыкновенной в сложении фитоценоза активную роль играют березы, осина, ель, ивы. Плотность взрослых деревьев составляет от 38 до 57 особей на 100 м^2. При этом морфометрические показатели сосны ниже, чем на участке самозарастания. При максимальном возрасте 30–33 года сосны достигают высоты 13–17 м, диаметр кроны 4,7–5,7 м, средний диаметр ствола 7–10 см, максимальный диаметр ствола – 26 см. Многие березы и осины имеют более высокие морфометрические показатели, чем хвойные. На этом участке хорошо развит ярус подроста: от 6 до 20 особей на 100 м^2. Высока плотность всходов: 20–53 особи на 100 м^2, большинство из них ели, а не кедр, как на участке самозарастания.

Кустарниковый ярус представлен семью видами, максимальное обилие имеют шиповник, ракитник, малина, реже встречаются можжевельник, рябина, черемуха, жимолость. По сравнению со старым участком самозарастания (засыпка 1958 г.) кустарниковый ярус выражен слабее. Травянистый ярус также развит слабее как по высоте, так и по обилию видов. Виды, описанные на этом участке, чаще относятся к луговым и сорно-рудеральным: гвоздика-травянка, лапчатка прямостоячая, чины – луговая, весенняя, горошки – мышиный, заборный, лесной, очанка волосистая, липучка обыкновенная. Из лесных видов отмечены зимолюбка зонтичная, ортилия однобокая, черника, грушанка малая и др. Проективное покрытие травянистой растительностью 20–40 %.

Растительный покров на участке посадок (7-летний в 1971 г.) имел ясно выраженное раздельно-групповое сложение. Общее проективное покрытие поверхности участка растительностью 30–50 %, задерненность 30–35 %. Фон создают древесные (высотой 30–70 см): осина, березы – бородавчатая и пушистая, ивы, сосна. Из травянистых фоновым растением являлся кипрей узколистный. Хорошо заметны куртины клевера ползучего диаметром от 30–50 см до нескольких метров и мать-и-мачехи.

Исследования 2000-го г. показали, что на участках, где были произведены механизированные посадки сосны, формирование фитоценоза вопреки ожиданиям идет довольно медленно. Загущенность посадок, наличие погибших деревьев, слабо развитые ярусы подроста и кустарников – характерные приметы данного участка. Морфометрические показатели сосны обыкновенной: возраст около 33 лет, максимальная высота 8–12 м, диаметр кроны 2–4 м, средний диаметр ствола 5–10 см. Максимальный диаметр ствола 19 см отмечен у сосен, не входящих в ряд посадок и появившихся раньше, чем были произведены посадки. У деревьев, посаженных 30 лет назад, диаметр ствола колеблется от 2 до 7 см.

Ярус подроста представлен в основном елью и кедром – от 2 до 6 особей на 100 м^2. Кустарниковый ярус представлен шиповником, ракитником, можжевельником, рябиной, единичными особями черемухи. Наблюдается дополнительное пополнение древесных растений: всходы составляют 16–26 особей на 100 м^2 (кедр, ель, береза, осина), причем всходы ели и кедра преобладают, составляя в среднем соответственно 13 и 5 особей на 100 м^2. Проективное покрытие травянистой растительностью – 5–30 %. Встречаются участки, не покрытые растительностью.

Причиной неудовлетворительного состояния посадок, на наш взгляд, является отсутствие ухода за посадками сосны, так как приживаемость саженцев через год после посадки составила 78–85 %. Изначальное расстояние между саженцами составляло 30–50 см. В настоящее время расстояние между соснами мало изменилось и равно 30–100 см, поэтому они находятся в равномерно угнетенном состоянии. Рубки ухода могли бы улучшить состояние посадок.

В целом при анализе видового состава подроста и всходов проявляется тенденция к будущей смене доминантов древесного яруса. Наиболее обильными и имеющими высокий процент встречаемости являются всходы ели сибирской, кедра, пихты сибирской, которые в будущем будут формировать темнохвойный, более типичный для изучаемого района лес.

Лекция 5

ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ ЗЕМЕЛЬ НА УРАЛЕ

Основные теоретические разработки исследователей Уральского университета. Промышленная ботаника: задачи и основные проблемы. Экологические основы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций. Особенности формирования флоры и растительности золоотвалов в зависимости от зонально-климатических условий. Содержание тяжелых металлов в системе «субстрат-растение» на золоотвалах. Экологические основы биологической рекультивации отвалов угледобывающей промышленности. И опыт их биологической рекультивации. Блок-схемы биологической рекультивации отвалов Кизеловского, Челябинского угольного бассейнов и Карпинско-Волочанского угольного района. Оценка качества фитомассы с отвалов угледобывающей промышленности по содержанию тяжелых металлов.

Урал – старый промышленный регион, где добыча и переработка полезных ископаемых ведется более 100 лет. Площадь промышленных отвалов на Урале составляет свыше 100 тыс. га. Вокруг городов с развитой промышленностью образуются «индустриальные пустыни», которые не только заменяют ценные сельскохозяйственные и лесные угодья, но и негативно влияют на жизненную среду человека.

Большая часть этих земель расположена в пределах восточных предгорий Уральских гор и пересекает с севера на юг все подзоны тайги и часть северной лесостепи (зона актуальной рекультивации, район неотложной массовой рекультивации по Б. П. Колесникову и А. И. Лукьянцу, 1976). Для этого района характерны маломощные сильнокаменистые почвы, а на старых промышленных предприятиях нет запасов почвы и потенциально плодородных пород для создания рекультивационного слоя. Здесь сосредоточено свыше 30 типов про-

мышленных отвалов, в том числе, сформированных валовым способом 50 и более лет назад. Биологическая рекультивация на Урале в «классическом» нормативном виде, из-за вышеуказанных причин, не нашла широкого применения.

С самого начала исследований по биологической рекультивации (начало 60-х годов XX в. под руководством В. В. Тарчевского) большое внимание уделялось инвентаризации промышленных отвалов, изучению темпов и интенсивности их естественного зарастания (Чибрик, Елькин, 1991) и начальных этапов почвообразования (Махонина, 2003).

Процесс рекультивации предусматривает в конечном счете создание устойчивых, продуктивных, хозяйственно и социально ценных биогеоценозов и предполагает не только увеличение площади сельскохозяйственных и лесных угодий за счет нарушенных земель. Часто на первый план выступают задачи охраны и оздоровления среды обитания населения.

Фитоценозы техногенных ландшафтов, возникшие в процессе самозарастания, – результат сложного взаимодействия зонально-климатических и конкретных экологических условий: чем последние благоприятнее, тем ближе к зональному типу формирующиеся фитоценозы. В зависимости от условий возможно формирование азональных и интерзональных фитоценозов.

Мероприятия биологического этапа рекультивации на Урале сводятся к посеву многолетних трав, посадке деревьев и кустарников испытанного и подобранного ассортимента с учетом эдафических и зонально-климатических условий. Особый интерес представляет наличие площадей, выделенных в группу не требующих биологической рекультивации, которые на угольных месторождениях Урала составили от 20 до 30–40 % (Чибрик, 2003). Для выделения этих площадей определяющими показателями являлись возраст отвалов и интенсивность естественного восстановления растительного покрова. Основные направления использования рекультивированных площадей – санитарно-гигиеническое, рекреационное, сенокосно-пастбищное, лесохозяйственное.

Зонально-климатические условия на Урале не являются препятствием для биологической рекультивации образованных отвалов и других типов нарушен-

ных земель. Способы биологической рекультивации определяются свойствами субстрата, которые исследуются в предпроектных изысканиях. При этом необходим учет восстановительных сил природных экосистем: при прочих равных условиях они оказались значительно выше в лесной зоне, чем в лесостепи и степи. Введение этих земель в хозяйственный оборот происходит интенсивнее в лесной зоне.

Важной особенностью биологической рекультивации на Урале в практическом плане является подбор и экспериментальное апробирование широкого спектра субстратоулучшателей, а для отвалов Богословского и Веселовского буроугольных месторождений обоснована возможность создания сенокосно-пастбищных угодий без покрытия почвой или потенциально плодородными породами с внесением умеренных доз минеральных и органических удобрений (преимущественно торфа) и с подбором ассортимента многолетних трав. Эти разработки положены в основу проекта доработки этих месторождений и практически реализованы на площади около 2000 га (урожай сена 15–20 ц/га).

Основные теоретические разработки исследователей Уральского университета:

– разработаны классификации отвалов с учетом их пригодности для биологической рекультивации, более полно отражающие их характерные особенности и помогающие выбрать подходящую технологию их биологической рекультивации (Тарчевский, 1970а; Колесников, Пикалова, 1974);

– обосновано выделение новой отрасли ботанических знаний – промышленной ботаники и сформулированы ее задачи (Тарчевский, 1970б);

– проведено биорекультивационное районирование Свердловской области (Колесников, Лукьянец, 1976);

– проведен анализ восстановления фиторазнообразия на нарушенных промышленностью землях Урала (Чибрик, Лукина, Глазырина, 2004);

– установлены основные закономерности структурно-динамической организации фитоценозов на разных типах нарушенных промышленностью земель (Чибрик, Елькин, 1991; Лукина, 2002; Глазырина, 2002; Филимонова, 2005).

Разработанные классификации отвалов приведены в Разделе 1.

Промышленная ботаника – комплексная отрасль биологических наук, которая исследует состояние, функционирование, рост и развитие растений и их сообществ в специфических условиях промышленной среды (техногенных ландшафтах).

В. В. Тарчевским (1970) для промышленной ботаники как самостоятельного отдела среди ботанических дисциплин были сформулированы следующие проблемы:

1. Изучение реакции растений и растительности на действие дымогазовых и иных выделений промышленных предприятий.

2. Изучение изменений микробиоценозов и фитоценозов водоемов и заливных лугов под влиянием сточных вод промышленных предприятий.

3. Выявление состава растительности и установление сингенетических смен фитоценозов на промышленных отвалах.

4. Разработка биологических основ озеленения заводских территорий, цехов, шахтных дворов и пустот горных выработок.

5. Изучение влияния вибрации и шума в цехах промышленных предприятий на растения.

6. Выявление растений – индикаторов полезных ископаемых.

По каждой из названных проблем наряду с общепринятыми должны применяться особые методы исследования. Имея свой специфический объект исследования, основные методы исследования, вправе предполагать получение новых теоретических обобщений и закономерностей.

Промышленная ботаника (по В. В. Тарчевскому) ставит своей задачей *изучение особенностей строения, роста и развития растений и формирования фитоценозов в зоне действия загрязнений промышленных предприятий и нейтрализацию последних в этих условиях с помощью растительности*.

Разработка научных основ и новых технологий и приемов биологической рекультивации нарушенных земель – одно из важнейших направлений промышленной ботаники.

На Урале, в связи с тем, что добыча полезных ископаемых и их переработка ведутся свыше 100 лет, сосредоточены значительные площади старых отвалов, где естественным путем частично восстановлены почвенный и растительный покровы.

Особенности биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель на Урале

Большая часть населения земного шара уже в настоящее время живет в окружении техногенных ландшафтов, они же энергично используются для нужд рекреации и массового кратковременного туризма – так называемые пригородные зоны. Свойственные им измененные биотические системы и сложные инженерно-технические структуры создают постоянную среду жизни людей. Но большинство техногенных ландшафтов в теперешнем их состоянии явно неблагоприятны и даже опасны для здоровья человека.

Кроме того, все техногенные ландшафты из-за низкой биологической продуктивности и специфических биофизических и биохимических свойств образуют своеобразные провалы и барьеры на путях планетарной миграции веществ и энергии. Они искажают нормальный ход таких фундаментальных процессов, протекающих в биосфере, как биологический круговорот азота, газовый режим атмосферы и т. п., снижают их интенсивность.

В границах современных техногенных ландшафтов отношения между структурами техносферы и биосферы в той или иной степени антагонистичны, возможности их гармоничного существования ограничены и должным образом не используются.

Характерной чертой их является нарушение целостности и сплошности «пленки жизни» (по терминологии В. И. Вернадского) в биосфере, *вплоть до полного уничтожения почвенного и растительного покровов* в результате деятельности человека, сравнимой по значимости с геологическими процессами. Среди техногенных ландшафтов особое место по своему отрицательному воздействию на естественные природные комплексы (да и на здоровье человека)

занимают так называемые *промышленные отвалы*. На Урале они концентрируются в окрестностях большинства населенных пунктов и всех крупных городов.

Участие органического вещества в общей массе таких промышленных отвалов (*неоэкотопов*) ничтожно. Присущие им сообщества живых организмов изменчивы и часто случайны по составу видов, примитивны по структуре, малоустойчивы и часто не способны к самовоспроизводству из поколения в поколение. Другими словами, они лишены многих качеств эволюционно зрелых природных биогеоценозов.

Следовательно, образование промышленных отвалов можно рассматривать как особый процесс катастрофической деградации (уничтожения) почвенного и растительного покровов.

Промышленные отвалы требуют рекультивации.

Основная задача исследовательских, опытно-производственных и производственных работ по рекультивации – устранить вредоносное, загрязняющее воздействие этих земель на прилегающие территории, вернуть им биологическую и социально-экономическую ценность.

Экологические основы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций

Характеристика золы как субстрата для выращивания растений. Золоотвалы (шлакоотвалы) тепловых электростанций, работающих на высокозольных углях, это своеобразные образования современного урбанизированного ландшафта, созданные человеком и не имеющие аналогов в природе. «Свежая» зола с золоотвалов является практически стерильным субстратом.

По механическому составу субстрат золоотвалов представлен несвязанными частицами золы с включением шлака и характеризуется процентным соотношением частиц разных размеров. Мощность зольных отложений колеблется от 2 до 20 м. Зольные отложения светло- или темно-серого цвета, иногда с черными включениями несгоревших угольных частиц. Преобладают мелкозернистые отложения золы (табл. 15), преимущественно фракции физического пес-

ка (1–0,05 мм) и пыли (0,05–0,001 мм).

По валовому химическому составу (табл. 16) субстрат золоотвалов Верхнетагильской ГРЭС (ВТГРЭС) и Южноуральской ГРЭС (ЮУГРЭС) соответствует алюмосиликатным образованиям (SiO_2: 48,4–58,3 %, Al_2O_3: 23,4–31,4 %). В золе практически отсутствует азот, нет органического вещества. Частицы несгоревшей угольной пыли (потенциальный гумус) связаны с силикатами золы и, подвергаясь медленным физико-химическим и биохимическим превращениям, играют малую роль в формировании плодородия золы. Содержание подвижного фосфора колеблется от 0,44 до 23,5 P_2O_5 мг/100 г золы, обменного калия – от 1,6 до 7,0 мг/100 г золы. Зола углей – субстрат незасоленный, обладает небольшой емкостью поглощения, аналогичной легким по механическому составу почвам, из-за обедненности высокодисперсным органическим веществом и илистыми частицами. Поглотительная способность верхних слоев толщи золоотвалов может быть увеличена нанесением на поверхность золоотвала торфа, почвы, почвогрунта, внесением минеральных удобрений, поливом обезвреженными сточными водами. Реакция среды щелочная (pH = 8,0–8,5), но в границах пригодных для роста и развития растений. Субстрат золоотвалов содержит большой спектр макро- и микроэлементов. Химический состав и другие свойства золы определяются свойствами сжигаемых углей (см.: Пасынкова, 1974).

По температурному режиму зола углей относится к слаботеплопроводным субстратам с резкой амплитудой колебаний температур на поверхности и глубине.

Водно-физические свойства зольного субстрата довольно своеобразны. Зола углей обладает хорошей скважностью и воздухообеспеченностью, водопроницаемость от значительной до средней на уровне суглинистых и супесчаных почв. Неблагоприятные условия возникают в период прорастания семян и на первых этапах жизни растений, так как в это время корни располагаются в слое 0–10 см, который подвергается быстрому и сильному иссушению. Для золоотвалов характерны сильное пыление с поверхности из-за отсутствия связности частиц и цементация глубоких слоев.

Таким образом, по водно-физическим свойствам и химическому составу золу углей можно отнести к субстратам пригодным для существования растений, но для создания долголетних продуктивных культурфитоценозов нужны агротехнические мероприятия, направленные на улучшение свойств золы углей как субстрата для выращивания растений.

Формирование экотопов и фитоценозов на золоотвалах

Золоотвал БТЭЦ. Изучение состояния поверхности золоотвала и сформировавшихся фитоценозов было проведено в августе 1999 г., через 27 лет после окончания его формирования. Характерной особенностью золоотвала является избыточное переувлажнение за счет протекающей по его поверхности р. Жданки и загрязнение части площади шламом с рядом расположенного шламохранилища алюминиевого завода (БАЗ).

По эдафическим условиям, исходя из свойств субстрата, всю территорию золоотвала можно разделить на 3 группы:

1. Участки с нанесением грунта.
2. Участки «чистой золы» без покрытия.
3. Участки сильно переувлажненные и в разной степени загрязненные стоками (сносами ветром) субстрата шламонакопителя БАЗ′а.

Субстрат участков с нанесением грунта характеризуется щелочной реакцией среды (pH = 8,23–8,85–9,4), лишь в некоторых образцах в слое 0–5 см реакция среды ближе к нейтральной (pH = 6,85). Субстрат засолен, степень засоления от слабой до средней (плотный остаток 0,11–0,34–0,65 %), но часть образцов показали высокую степень засоления (плотный остаток 1,15–1,63). Тип засоления сульфатный. Содержание фосфора и калия низкое.

Зола по агрохимическим показателям сходна с участками с грунтовым покрытием, но не засолена (плотный остаток 0,09–0,31 %). Реакция среды золы – от нейтральной до слабощелочной (pH = 7,06–7,72). Содержание фосфора и калия очень низкое.

Таблица 15

Механический состав зольного субстрата

Наименование объекта	Гигроскопическая влага	Потеря при обработке HCl	Количество частиц						Сумма фракций		Наименование субстрата по механическому составу
			Песок (диаметр, мм)		Пыль (диаметр, мм)			Ил	Физический песок (>0,01)	Физическая глина (<0,01)	
			средний	мелкий	крупная	средняя	мелкая	<0,001			
			1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001				
Золоотвал Верхнетагильской ГРЭС	–	19,47	0,53	4,23	56,08	5,45	9,33	4,91	60,84	19,69	Супесь
Золоотвал Южноуральской ГРЭС	0,60	14,53	27,70	41,26	6,74	3,60	2,30	3,68	75,84	9,58	Песок

Таблица 16

Химический состав зольного субстрата

Наименование объекта	Потери при прокаливании,%	Валовое содержание основных элементов (% на прокаленную навеску)						Содержание подвижных элементов			Сумма обменных катионов Ca^{+2}, Mg^{+2}	pH по KCl
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	N, %	P_2O_5	K_2O		
									мг/100 г золы		мг*экв/100 г	
Золоотвал Богословской ТЭЦ	0,39	83,30	2,70	3,40	3,60	1,40	0,34	Следы	0,44	6,80	–	7,72
Золоотвал Верхнетагильской ГРЭС	2,40	48,40	23,40	14,20	4,90	2,90	3,80	Следы	23,50	7,00	–	8,50
Золоотвал Южноуральской ГРЭС	–	58,30	31,40	7,20	2,00	0,30	0,70	0,08	2,70	1,60	42,00	8,00

Субстрат загрязненных участков имеет сильно щелочную реакцию среды (pH = 9,93–10,99), превышающую верхний предел pH для почв, очень сильно засолен. Плотный остаток верхнего 2-сантиметрового слоя на участках, занятых бескильницевой группировкой, составляет от 2,13 до 4,39 %, с глубиной уменьшается до 0,36–0,4 %. На участках без растительности с видимыми выцветами солей в виде белой и желтой «корочек» плотный остаток верхнего 2-сантиметрового слоя составил соответственно 16,8 и 34,85 %, а нижележащих слоев (от 2 до 25 см) – 2,84 и 1,24 %. Качественный состав засоления можно определить как натриевое по катионам и сульфатно-содовое по анионам. Содержание фосфора и калия низкое. По реакции среды и степени засоления субстрат поверхности загрязненных территорий должен быть отнесен к непригодным для биологической рекультивации, требующим коренного улучшения.

Через 25 лет на поверхности золоотвала выделены следующие экотопы (местообитания), различающиеся по экологическим условиям и растительности:

1. *Чистая зола* (территориально преобладает):

а) залитая водой территория с характерной прибрежной гидрофитной и гигрофитной растительностью;

б) сильно переувлажненная территория с гигрофитной растительностью;

в) высохшая территория с гигрофитной растительностью;

г) возвышения, на которых сформировался ивняк с примесью березы, осины и очень редко сосны;

д) возвышения, на которых сформировалась редина сосны с примесью ив, березы, осины.

Выделы 1г и 1д – это в основном придамбовая территория, занимающая небольшую площадь.

2. *Зола с покрытием грунтом*:

а) территория со сформировавшимся лесным фитоценозом с доминированием сосны;

б) территория достаточно сформированных разнотравно-злаковых фитоценозов опушечного типа.

3. *Сильно переувлажненная и в разной степени загрязненная* стоками и сносами ветром субстрата шламонакопителя БАЗ′а – в местонахождении р. Жданки:

а) территория без растительности, сырая, избыточно увлажненная (опасная для людей и животных);

б) территория без растительности, микроповышения в виде островков, более или менее сухие с поверхности, с ржавыми пятнами и солевой корочкой (белого и желтого цвета);

в) территория в виде островков гигрофитной растительности (преимущественно бескильницевые и вейниковые группировки).

При санитарно-гигиеническом направлении рекультивации вся территория золоотвала по *пригодности к биологической рекультивации* может быть разделена на 2 группы:

I. Площади, не требующие биологической рекультивации: экотопы 1 (а, б, в, г), 2 (а, б).

II. Площади, подлежащие биологической рекультивации: экотопы 3 (а, б, в).

Вероятно, следует рассматривать два варианта в зависимости от мероприятий, определяющих гидрологический режим территории. Первый вариант – при проведении технических мероприятий, способствующих полному осушению территории золоотвала. На площадях первой группы можно прогнозировать формирование лесных фитоценозов через заросли ивы с различной примесью лиственных пород и сосны. На окружающей территории расположены естественные насаждения, которые можно рассматривать в качестве поставщиков семян. Видовое соотношение этих растительных сообществ будет регулироваться фитоценотическими условиями. Возможно некоторое регулирование лесотехническими мероприятиями (рубки ухода и др.). Экотоп 1а будет сущест-

вовать в режиме динамического равновесия уровня и площадей водного пространства в соответствии с количеством атмосферных осадков.

При этом следует иметь в виду, что полностью исключить переувлажнение этой территории весьма проблематично. Требуется проработка вопроса со стороны гидрологов и гидрогеологов. Как показывают наши наблюдения и исследования специалистов по рекультивации, такие массивы промышленных отвалов, как шламонакопитель БАЗ′а, способствуют поднятию грунтовых вод и подтоплению территорий, примыкающих к этим отвалам, вплоть до гибели леса.

Второй вариант – при проведении технических мероприятий, способствующих частичному осушению территории золоотвала за счет зарегулирования русла реки Жданки. При этом не исключается переувлажнение в весенний период за счет паводковых вод, в годы с повышенным уровнем атмосферных осадков и др.

На площадях первой группы тогда можно прогнозировать дальнейшее формирование экосистем болотного типа с усилением процесса торфообразования. В настоящее время при полевом обследовании зафиксирована на большинстве территорий толщина «торфоподобного» слоя от 5 до 7 см и более.

Золоотвал ВТГРЭС. Через 20 лет после начала рекультивационных работ на золоотвале Верхнетагильской ГРЭС наблюдался довольно разнообразный спектр экотопов, которые обусловили своеобразие биотопов и формирующихся растительных сообществ. Существенное влияние оказывали на этот процесс и рекультивационные мероприятия. Исходные экотопы можно охарактеризовать по схеме:

1. *Нерекультивированная территория*:

а) исходный экотоп – сухой золоотвал, «чистая зола»;

б) умеренное переувлажнение, «чистая зола», благоприятные условия заноса семян;

в) остаточные понижения, периодически затопляемые водой (талые воды, фильтрация из золоотвала и др.).

2. *Первично рекультивированная территория с полосным нанесением грунта*:

а) зола с нанесением грунта и посевом многолетних трав;

б) зола с нанесением грунта;

в) «чистая зола» (пространства между полос с грунтом).

3. *Вторично рекультивированная территория* – раскорчевка кустарников, сплошное нанесение слоя торфа.

Схема формирования фитоценозов на золоотвале Верхнетагильской ГРЭС в зависимости от экотопа приведена в таблице 17.

Формирование фитоценоза мы понимаем как развитие растительной группировки от стадии поселения отдельных экземпляров до группировки с определенной степенью сомкнутости и ясно выраженными фитоценотическими отношениями, независимо от динамического статуса фитоценоза.

В формировании сообществ на нарушенных промышленностью землях с достаточно интенсивным процессом самозарастания выделяются следующие стадии сингенеза: экотопическая группировка (проективное покрытие 0,1 %); простая группировка (0,1–5 %); сложная группировка (6–50 %); фитоценоз (проективное покрытие более 50 %) (см. об этом: Чибрик, Елькин, 1991).

В нашем случае формирование фитоценоза – это и процесс заселения растениями незанятых территорий, которые изначально лишены диаспор растений. Формирование растительности на подобных территориях идет по типу первичных сукцессий по А. П. Шенникову (1964). Это автогенная сукцессия формирования растительности на новых субстратах, где растительность ранее отсутствовала.

Схема формирования фитоценозов на золоотвале в зависимости от экотопа построена на основе реальных датированных геоботанических описаний, проведенных на данных экотопах. Фитоценоз рассматривается в качестве основного компонента формирующейся техногенной экосистемы в условиях золоотвалов.

На «чистой золе» (1а) через 20 лет сформировались заросли *Calamagrostis*

epigeios (L.) Roth. с незначительным участием других видов с рединой *Salix* и *Betula*, и очень густые заросли *Salix* (6 видов) с примесью *Betula pendula* Roth., *Betula pubescens Ehrh.* и *Populus tremula* L. При благоприятном увлажнении (1б), что к тому же обеспечивает стабильность субстрата, формирование сообществ ускоряется, и в течение 10 лет сформировались на десятках гектаров щучковый луг (доминант *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv), закустаренный щучковый луг и клеверно-мятлико-щучковый луг (*Trifolium repens* L., *Poa trivialis* L.). Везде наблюдается развитие мохового покрова (20–40 % проективное покрытие). Около заполненных водой понижений (1в) формируются разные варианты прибрежной растительности.

На первично рекультивированных территориях на полосах с нанесенным грунтом при посеве многолетних трав (2а) в первые годы частично осуществлялось их скашивание. В результате за 20 лет сформировались разнотравно-злаковые и разнотравные растительные сообщества с рединой *Pinus sylvestris* и *Betula*. Деревья, разрастаясь, усиливают свою эдификаторную роль. На полосах с грунтом без посева трав (2б) формирование лесных фитоценозов ускоряется, так как исключается скашивание, замедляется задернение поверхности и формирование травянистых сообществ лугового типа.

Следует учесть, что завезенный грунт содержал определенный набор диаспор видов именно лесных фитоценозов. В результате формируется смешанный лес с доминированием *Pinus*, реже *Betula* с преимуществом *Betula pendula*.

На «чистой золе» между полосами с нанесением грунта с задержкой в 5–10 лет формируются лесные сообщества из сложного соотношения лиственных пород – *Betula* с примесью *Salix* и *Populus tremula*. Травянисто-кустарниковый ярус слабо выражен. Вероятно, формирование этих фитоценозов связано с поступлением семян с соседних ранее заросших полос с грунтом. Естественно, что происходит улучшение свойств золы за счет попадания грунта с полос в результате водной и ветровой эрозии, как и обратный процесс – занос золы ветром на полосы грунта.

Таблица 17

Схема формирования фитоценозов на золоотвале ВТГРЭС

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">Эко-
топ</th><th colspan="6">Возраст, лет</th></tr>
<tr><th colspan="2">5</th><th colspan="2">10</th><th colspan="2">15 … 25</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1</td><td>а</td><td colspan="2">Экотопическая бескильницевая или разнотравная растительная группировка (ЭГ)</td><td colspan="2">Простая растительная группировка (ПГ)</td><td>→→</td><td>Заросли вейника с рединой ив и берез (Ф)
---------- ----------
Густые заросли ив с примесью берез и осин (Ф)</td></tr>
<tr><td>б</td><td>ЭГ:
– водоросле-во-моховая;
– бескильни-цевая;
– разнотрав-но-злаковая</td><td>ПГ:
-разнотравно-злаковая;
-злаково-разнотрав-ная</td><td colspan="2">Сложная растительная группировка (СГ):
– злаковая;
– разнотравно-злаковая;
– бобово-злаковая</td><td>→→→→</td><td>Щучковый луг с подростом берез пушистой и повислой, ив (Ф)
---------- ----------
Закустаренный щучковый луг (Ф)
---------- ----------
Клеверо-мятликово-овсяницево-щучковый луг (Ф)</td></tr>
<tr><td>в</td><td colspan="3"></td><td>Одиночные островки растительных группировок гидрогигрофитного типа</td><td>→→</td><td>Различные варианты прибрежной растительности</td></tr>
<tr><td rowspan="3">2</td><td>а</td><td>Культур-фитоценоз + сорняки-апофиты</td><td>СГ:
– высокотравно-злаковая;
– разнотравно-злаковая с большой долей культурных видов</td><td colspan="2">Разнотравно-злаковый фитоценоз с подростом древесных</td><td>→→</td><td>Лесной фитоценоз с достаточно выработанными древесным, кустарниковым, травянистым и моховым ярусами (Ф)</td></tr>
<tr><td>б</td><td>ПГ:
– злаково-разнотрав-ная с древес-ными</td><td>СГ:
– разнотравно-злаковая,
– злаково-разнотравная со всходами и подростом деревьев и кустарников</td><td colspan="2">Лесной фитоценоз: заросли древесных со слабо выработанным травянисто-кустарниковым ярусом</td><td>→→</td><td>Лесной фитоценоз с ясно выраженными древесным, кустарниковым, травянистым и моховым ярусами (Ф)</td></tr>
<tr><td>в</td><td>ЭГ:
– разнотрав-ная</td><td>ПГ:
– разнотравная;
– разнотравно-зла-ковая;
– всходы дре-весных</td><td colspan="2">СГ:
– разнотравная со всходами древесных;
– разнотравно-злаково-красноовсяницевая;
– массовые всходы и подрост древесных</td><td>→→</td><td>Заросли лиственных пород со слабо выработанным травянисто-кустарниковым ярусом, сильной замшелостью (Ф)</td></tr>
</table>

Примечание: ЭГ – экотопическая растительная группировка (0,1 %); ПГ – простая растительная группировка (0,1–5 %); СГ – сложная растительная группировка (6–50 %); Ф – фитоценоз (более 50 %). Процент означает проективное покрытие поверхности золоотвала растениями.

На вторично рекультивированной территории проведена раскорчевка кустарников, сплошное нанесение слоя торфа, посев многолетних трав. При использовании комплекса органических и минеральных удобрений созданы продуктивные пастбищно-сенокосные угодья.

Проведенные наблюдения дают возможность оценить опыт биологической рекультиваци золоотвала с полосным нанесением грунта и посевом многолетних трав. При этом достигается стабилизация зольного субстрата за счет полос, что приводит к уменьшению и даже прекращению пыльных бурь.

Важных моментом следует признать некоторое улучшение водно-физических и агрохимических свойств золы за счет смыва грунта с полос на межполосное пространство с «чистой золой». Посев многолетних трав и последующее их скашивание ускоряет озеленение полос с грунтом, но задерживает вселение деревьев и кустарников и формирование древесного яруса формирующихся лесных фитоценозов.

Биологическая рекультивация золоотвала с полосным нанесением грунта первоначально (от 3 до 5 лет) выполняет санитарно-гигиеническую роль. В последующем возможно создание продуктивных кормовых угодий, но с оценкой качества получаемой продукции.

Золоотвалы ЮУГРЭС. Расположены в лесостепной зоне, формируются травянистые сообщества лугового и лугово-степного типа. Рекультивационные мероприятия в виде почвенного покрытия золы и посева широкого ассортимента многолетних трав ускоряют формирование фитоценозов, и уже с первых лет культурфитоценозы имеют не только санитарно-гигиеническое, но и хозяйственное значение (сенокошение, сбор семян высеянных трав и др.). Со временем (к 10–15 годам) наблюдается трансформация культурфитоценозов в разнотравно-злаковые фитоценозы с заменой доминантов (выпадают высеянные виды: *Onobrychis arenaria* (Kif) DC., *Medicago media* L., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub на дикорастущие виды. На «чистой золе» также проявляется тенденция формирования разнотравно-злаковых фитоценозов, но с доминированием *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth. и *Poa pratensis* L., то есть видов с довольно ин-

тенсивным вегетативным размножением и разрастанием с помощью корневищ. Естественное зарастание зольного субстрата чрезвычайно замедляется особенно на первых стадиях – стадиях поселения из-за быстрого высыхания и перевевания сухой золы. Растительный покров, стабилизирующий поверхность золы и способствующий прекращению пыления без рекультивационных мероприятий, формируется при умеренном увлажнении к 15–20 годам, а при недостаточном этот процесс еще более длительный (25 и более лет).

Содержание тяжелых металлов (ТМ) в системе «субстрат–растение»

Содержание ТМ изучалось на золоотвалах ВТГРЭС и ЮУГРЭС в разных по свойствам субстрата местообитаниях. На золоотвале ЮУГРЭС местообитания отличаются по возрасту (старый и новый золоотвалы) и по свойствам субстрата (зола + почва и зола). На золоотвале ВТГРЭС образцы отбирались на рекультивированном участке на полосах с грунтом и на золе без покрытия (отличие по субстрату). На вторично рекультивированном участке проведена раскорчевка деревьев и кустарников, планировка и добавка органики (торф и др.) – разница по субстрату и в какой-то мере по возрасту.

Общая картина по содержанию ТМ в субстрате и накоплению в растениях на золоотвалах представлена соответственно в таблицах 18 и 19. Есть достаточно данных, что на химический состав растений оказывают влияние климат, химический состав почв и горных пород, видовая принадлежность растений. При этом микроэлементный состав (содержание ТМ) в большей степени зависит от геохимических особенностей ландшафта. Сравнение среднего содержания ТМ в субстрате золоотвалов показало, что из 19 элементов содержится примерно одинаковое количество Co, V, Mo, Be и Zr. В субстрате золоотвала ВТГРЭС на 10–25 % выше содержание Ti, Pb, Zn, Sr, Ga, Y и на 35 % – Ag, в 1,9 раза – Cu, в 2,75 раза – Sn. Содержание Ni, Cr, Mn в 1,3–1,5 раза выше в субстрате золоотвала ЮУГРЭС по сравнению с золоотвалом ВТГРЭС.

Сравнение содержания ТМ в субстрате золоотвалов с соответствующими показателями почвы (данные по почвам Урала) свидетельствует о существен-

ном обогащении золы многими ТМ по сравнению с почвой. Среднее содержание Co в субстрате описываемых золоотвалов выше в 3,3 раза, Mo, V, Ti, Sr – выше в 1,5–2 раза. Особенно существенно превышение по Mn (8–10 раз), Cu (4–7 раз), Zn (3–5 раз), Pb (7–9 раз), Sn (2,8–7,7 раза), Be – более чем в 3 раза (соответственно по золоотвалам лесостепной и лесной зон). В то же время на золоотвалах ниже среднее содержание Y (в 1,7 раза), Ga (2,5–2,7 раза), Zr (почти в 3 раза) по сравнению с почвами Урала.

Таким образом, субстрат золоотвала по микроэлементному составу существенно отличается от почв Урала.

Зольный субстрат существенно влияет на морфологические признаки растений. Наблюдается явление неотении, ослаблено кущение злаков, уменьшается площадь листовых пластинок и ассимилирующая листовая поверхность растений, изменяются ростовые процессы корневых систем.

Спектральный анализ субстрата золоотвалов, надземной и подземной биомассы растений на 37 элементов показал наличие 19 из них. Нанесение на поверхность золоотвала почвы или потенциально плодородных пород изменяет содержание ТМ. Независимо от возраста отвалов, рекультивационных мероприятий и зонального положения содержание Cr, Mn, V, Ag, Sr, Be, Zr, Y превышает их содержание в территориально близких почвах, особенно Cr, Sr, и Zr (более чем в 2 раза). В субстрате золоотвала в лесостепной зоне ниже (по сравнению с окружающими почвами) содержание Ti, Cu, Zn, Pb, Sn. Содержание остальных элементов (Ni, Co, Mo, Ba, P) зависит от возраста, рекультивационных мероприятий и зонального положения отвалов.

Таблица 18

Содержание тяжелых металлов ($n \times 10^{-3}$ %) в субстрате и растениях с золоотвалов Южноуральской ГРЭС

Элемент	Почва*	Субстрат			Надземная масса			Корни			КБП** надземной массой			КБП корнями		
		min	*max*	*X* ср.	*min*	*max*	*X* ср.	*min*	*max*	*X* ср.	*min*	*max*	*X* ср.	*min*	*max*	*X* ср.
Ni	4×10^{-3}	9,4	12,4	10,5	12,4	16,3	14,1	13,7	16,7	15,0	1,1	1,7	1,4	1,2	1,8	1,4
Co	4×10^{-3}	3,1	3,5	3,3	2,0	2,2	2,0	2,0	3,2	2,6	0,6	0,7	0,6	0,6	1,0	0,8
Cr	2×10^{-2}	20,0	24,4	21,9	8,0	10,9	9,8	10,6	11,4	10,9	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5
Mn	8×10^{-2}	82,9	152,6	112,0	84,9	118,1	102,3	114,0	177,9	137,4	0,6	1,4	0,9	0,8	2,2	1,2
V	1×10^{-2}	20,3	24,1	22,4	15,2	19,9	17,5	19,9	20,5	20,2	0,6	1,0	0,8	0,9	1,0	0,9
Ti	$4,6 \times 10^{-1}$	353,5	408,6	380,4	219,4	301,2	252,7	257,9	285,7	274,9	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7
P		128,0	146,7	138,2	945,5	994,1	968,8	740,0	906,1	807,0	6,4	7,6	7,0	5,0	6,6	5,8
Cu	2×10^{-3}	7,5	8,9	8,4	8,3	9,4	8,9	8,3	9,6	9,2	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2	1,1
Zn	5×10^{-3}	9,0	13,2	10,4	7,9	11,4	9,2	10,5	14,6	12,2	0,6	1,2	0,9	0,9	1,5	1,2
Pb	7×10^{-4}	2,0	2,4	2,2	1,0	1,6	1,3	1,5	1,7	1,6	0,4	0,9	0,6	0,6	0,9	0,7
Ag			0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,5	1,0	0,8	1,0	2,0	1,5
Mo	2×10^{-4}	0,1	0,3	0,2	2,0	2,9	2,4	1,3	2,0	1,7	7,7	36,0	14,0	6,1	24,4	9,9
Ba	5×10^{-2}	49,8	57,0	52,4	41,6	53,2	46,8	46,7	47,9	47,1	0,8	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9
Sr	3×10^{-2}	34,1	38,6	36,3	40,0	50,0	44,0	39,8	45,2	41,8	1,1	1,5	1,2	1,0	1,3	1,2
Sn	1×10^{-3}	0,2	0,3	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,6	0,5	0,5	0,7	0,6
Be	$0,6 \times 10^{-3}$	0,2	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,5	0,7	0,6	0,6	0,9	0,8
Zr	3×10^{-2}	9,9	11,9	11,0	9,3	9,6	9,5	10,7	14,1	12,2	0,8	0,9	0,9	0,9	1,4	1,.1
Ga	3×10^{-3}	1,0	1,1	1,1	0,7	0,8	0,7	1,0	1,2	1,1	0,6	0,7	0,7	0,9	1,1	1,0
Y	5×10^{-3}	2,7	3,0	2,8	1,4	1,5	1,4	1,7	2,0	1,8	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7

Примечание: * – Данные для табл. 18 и 19 приведены по работе: Глазовская, 1964; ** – КБП – коэффициент биологического поглощения.

Таблица 19

Содержание тяжелых металлов ($n \times 10^{-3}$ %) в субстрате и растениях с золоотвала Верхнетагильской ГРЭС

Элемент	Почва	Субстрат			Надземная масса			Корни			КБП надземной массой			КБП корнями		
		min	*max*	*X* ср.	*min*	*max*	*X* ср.	*min*	*max*	*X* ср.	*min*	*max*	*X* ср.	*min*	*max*	*X* ср.
Ni	4×10^{-3}	6,6	9,1	7,6	6,5	9,1	7,8	8,8	11,9	10,6	0,7	1,3	1,0	1,0	1,8	1,4
Co	4×10^{-3}	2,8	4,1	3,4	1,1	1,4	1,2	1,5	2,4	2,0	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4	0,6
Cr	2×10^{-2}	10,9	14,6	12,6	3,4	7,9	5,3	7,6	8,6	8,2	0,3	0,5	0,4	0,5	0,8	0,7
Mn	8×10^{-2}	70,2	95,6	84,0	121,9	155,4	133,4	115,4	147,4	128,0	1,3	2,2	1,6	1,3	1,7	1,5
V	1×10^{-2}	18,4	27,8	21,9	6,7	11,4	8,4	19,1	22,7	20,7	0,3	0,4	0,4	0,7	1,2	1,0
Ti	$4,6 \times 10^{-1}$	414,1	427,8	422,0	155,7	208,3	174,1	247,8	292,6	276,0	0,4	0,5	0,4	0,6	0,7	0,7
P		110,4	211,6	165,9	753,2	972,2	886,1	753,8	810,0	784,0	4,3	8,5	5,3	3,8	7,1	4,7
Cu	2×10^{-3}	11,1	17,2	14,1	8,7	9,8	9,3	10,9	13,7	12,4	0,6	0,8	0,7	0,6	1,1	0,9
Zn	5×10^{-3}	13,9	16,8	15,2	16,4	28,2	21,5	40,0	51,5	46,7	1,0	1,9	1,4	2,4	3,5	3,1
Pb	7×10^{-4}	2,5	3,0	2,8	3,2	3,5	3,3	4,9	5,7	5,2	1,1	1,4	1,2	1,8	2,0	1,9
Ag		0,02	0,03	0,03	0,04	0,06	0,05	0,04	0,05	0,04	1,3	3,0	1,9	1,3	2,5	1,6
Mo	2×10^{-4}	0,1	0,2	0,2	0,8	1,9	1,3	0,5	1,1	0,9	5,6	11,1	8,1	5,2	7,7	5,7
Ba	5×10^{-2}	46,1	48,3	47,3	52,4	62,2	57,6	49,2	101,3	67,4	1,1	1,4	1,4	1,1	2,1	1,2
Sr	3×10^{-2}	40,9	50,2	45,2	46,0	66,5	55,5	49,5	62,5	57,6	1,0	1,6	1,2	1,0	1,5	1,3
Sn	1×10^{-3}	0,6	0,9	0,8	1,2	1,7	1,4	1,5	2,2	1,9	1,3	3,0	1,8	1,6	3,3	2,4
Be	$0,6 \times 10^{-3}$	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,6	0,9	0,6	0,7	1,4	1,0
Zr	3×10^{-2}	10,6	14,6	12,0	9,2	9,3	9,2	10,3	12,8	11,3	0,6	0,9	0,8	0,9	1,0	0,9
Ga	3×10^{-3}	1,1	1,4	1,2	0,5	0,6	0,6	1,0	1,1	1,1	0,4	0,6	0,5	0,8	1,0	0,9
Y	5×10^{-3}	3,1	3,4	3,2	0,8	1,6	1,2	1,8	2,0	1,9	0,3	0,5	0,4	0,6	0,7	0,6

Исследование коэффициентов биологического поглощения (КБП) надземной массой и корнями растений с золоотвала позволило выделить две группы ТМ: *сильнонакопляемые* (КБП = 10–1) – Ni, Mn, P, Zn, Pb, Ag, Mo, Ba, Sr; *слабонакопляемые* (КБП = 1–0,1) – Co, Sr, V, Ti, Be, Zr, Ga, Y (табл. 20). На общем фоне достаточно сходных по содержанию ТМ золоотвалов выявлено влияние видоспецифичности формирующихся фитоценозов. В частности, Cu на золоотвале в лесостепной зоне относится к сильно-, а в таежной – к слабонакопляемым элементам, а Sn имеет противоположную тенденцию. В надземной массе растений с золоотвала в лесостепной зоне по КБП (> 10) Mo относится к группе энергичнонакопляемых элементов. Большинство изученных элементов накапливаются больше в корнях, чем в надземной массе, исключение составляют P, Mo, а на золоотвале в лесной зоне еще и Mn, Ag, Ba. Исследование показало, что задача предотвращения поступления ТМ в растения может быть решена как применением агротехнических приемов, окультуриванием золоотвалов (нанесением почвы, грунта, внесением органических и минеральных удобрений), так и подбором культур – разных видов многолетних трав. В связи с видоспецифичностью поглощения ТМ и разной интенсивностью накопления их в различных органах, необходимо следить, чтобы в используемой части растения не накапливались токсические концентрации ТМ.

Влияние субстрата и зонально-климатических условий на накопление ТМ в различных органах (в частности, в надземной массе и корнях) иллюстрируют ряды их биогенной концентрации (табл. 21).

Большинство из обнаруженных 19 микроэлементов накапливаются больше в корнях, чем в надземной массе. Для растений с золоотвалов обеих электростанций это Ni, Co, Cr, V, Ti, Cu, Zn, Pb, Sn, Be, Zr, Ga, Y. В надземной массе у растений с золоотвалов больше накапливаются P и Mo, а Sr – примерно в равных количествах с корнями. Разница наблюдается по накоплению Mn, Ag, Ba, которые в растениях с золоотвала ВТГРЭС больше накапливаются в надземной массе, а с золоотвала ЮУГРЭС – в корнях.

Опыт биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций

Золоотвалы относятся в большинстве своем к типу отвалов, пригодных для биологической рекультивации после улучшения. Преодоление неблагоприятных свойств для возделывания растений на золоотвалах производится, как правило, двумя путями: улучшение свойств субстрата до уровня, пригодного для биологической рекультивации, и подбор ассортимента видов, толерантных к комплексу экологических условий золоотвала. Чаще всего используется оба пути одновременно, т. е. производится улучшение свойств субстрата доступными для предприятия способами и подбирается ассортимент видов, разрабатывается технология их использования в условиях золоотвала. В том и другом случаях мероприятия зависят от целей фитомелиорации.

Хотя технология создания растительного покрова на золоотвалах зависит как от свойств золы и назначения создаваемого травостоя, так и от их зонально-географического положения, наиболее распространен *посев многолетних трав*.

При создании посевов реально использованы следующие способы улучшения свойств субстрата:

1. За 5–10 дней до посева вносилось полное минеральное удобрение из расчета на 1 га от 20–30 до 50–60 кг действующего начала азотных, фосфорных и калийных удобрений. В зависимости от содержания доступных фосфатов и обменного калия дозировка фосфатных и калийных удобрений может меняться, азот всегда в большом дефиците. Последующие годы ежегодно весной проводится подкормка азотными удобрениями (2–3 ц/га) и осенью – калийными (1 ц/га).

Таблица 20

Коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов растениями, произрастающими на золоотвалах

Объект	Биомасса	Коэффициенты биологического поглощения			
		Более 10	10–1	1–0,1	0,1–0,01
Золоотвал ЮУГРЭС	Надземная масса	Mo	Ni, P, Cu, Sr	Co, Cr, Mn, V, Ti, Zn, Pb, Ag, Ba, Sn, Be, Zr, Ga, Y	–
	Подземная масса	–	Ni, Mn, P, Cu, Zn, Ag, Mo, Sr, Zr	Co, Cr, V, Ti, Pb, Ba, Sn, Be, Ga, Y	–
Золоотвал ВТГРЭС	Надземная масса	–	Ni, Mn, P, Zn, Pb, Ag, Mo, Ba, Sr, Sn	Co, Cr, V, Ti, Cu, Be, Zr, Ga, Y	–
	Подземная масса	–	Ni, Mn, P, Zn, Pb, Ag, Mo, Ba, Sr, Sn	Co, Cr, V, Ti, Cu, Be, Zr, Ga, Y	–

Таблица 21

Ряды биогенной концентрации (по КБП) тяжелых металлов в надземной массе и корнях растений с золоотвалов

Местообитание, субстрат	Биомасса	Ряды биогенной концентрации
Золоотвалы Южноуральской ГРЭС		
Старый золоотвал, зола + почва	НМ*	Mo > P > Mn > Ni > Sr > Cu > V > Ba > Zr > Be > Ga > Co > Ti > Sn > Pb = Zn > Ag > Y > Cr
	К	Mo > P > Mn > Ag > Ni > Cu > Sr > Zr > V > Ga > Ba > Zn > Be > Ti > Pb > Co > Y > Sn > Cr
Старый золоотвал, зола	НМ	Mo > P > Ni > Sr > Cu = Ag > Zr > Zn > Ba > Ga > V > Ti > Co = Be > Mn > Y > Sn > Cr = Pb
	К	Mo > P > Ni > Zr > Zn > Ga > Cu > Sr > Co > Ag > Ba > V > Be > Ti > Mn > Sn = Y > Pb > Cr
Новый золоотвал, зола	НМ	Mo > P > Sr > Mn = Zn > Cu > Ni > Ba > Pb > Zr > Ti > Ga > V > Co > Y > Ag > Be > Cr > Sn
	К	Mo > P > Ag > Zn > Mn > Sr > Ni > Cu > Zr > Ga > Pb > V > Ba > Co > Ti > Y > Be > Sn > Cr
Золоотвал Верхнетагильской ГРЭС		
Зола + грунт	НМ	P > Mo > Ag > Sn > Zn > Mn > Ni > Ba > Sr > Pb > Zr > Cu > Be > Ga > Co > Ti > V > Y > Cr
	К	P > Mo > Zn > Sn > Pb > Ag > Ni > Mn > Cu > Ba > V > Sr > Zr > Ga > Be > Cr > Ti > Y > Co
Зола	НМ	Mo > P > Sn > Ag > Mn > Zn > Sr > Pb > Ni > Ba > Cu > Zr > Be > Cr > Ga > V > Ti > Co > Y
	К	Mo > P > Zn > Sn > Ba > Pb > Ag > Mn > Sr > Ni > Be > V > Cu > Zr > Ga > Ti > Cr > Co > Y
Зола с примесью	НМ	Mo > P > Mn > Ba > Ag > Sn > Pb > Sr > Zn > Be > Zr > Ni > Cu > Ga > Cr > Y > Ti > V > Co
	К	Mo > P > Zn > Pb > Sn > Sr > Mn = Ag > Ba > Zr > Ga > Ni > Be > V > Ti = Y > Cu > Co > Cr

Примечание: * – НК – надземная масса; К – корни.

2. Практиковалось нанесение плодородного слоя почвы в 1–2 см (100–200 $м^3$/га). На золоотвале в лесостепной зоне, расположенном практически в городской черте, проводилось сплошное покрытие золоотвала слоем почвы 10–20 см (неравномерность покрытия связана с техническими причинами) и сплошной посев многолетних трав (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC. и др.) на поверхности всего золоотвала в 68 га (золоотвал Южноуральской ГРЭС).

На части золоотвалов применялось покрытие грунтом, в том числе полосное (золоотвал ВТГРЭС). При полосном способе покрытия грунт наносился полосами, ширина которых устанавливалась кратной ширине захвата зернотравяной сеялки, но не более 8–10 м. Для обеспечения наилучшего занесения семян на межполосные пространства направление полос с грунтом должно быть перпендикулярным направлению господствующих ветров. Посев семян культурных растений проводят только на полосах с покрытием.

В зонах с недостаточным увлажнением покрытие поверхностей золоотвалов должно быть сплошным и слой более мощный. Посев же семян может проводиться полосами с соблюдением принципа расположения полос на золоотвалах с полосным покрытием.

3. На золоотвалах можно применять полив поверхности (5–7 раз за вегетационный период) сточными канализационными водами после прохождения их через очистные сооружения из расчета 150–400 $м^2$/га. Полив, как правило, приурочен к фазам развития многолетних трав: в период весеннего отрастания, бутонизации (выхода в трубку для злаков), цветения и осеннего кущения. Применяемые сточные воды должны соответствовать нормам санитарно-эпидемиологической службы по содержанию вредных веществ. Полив золоотвала сточными водами хорошо влияет на рост и развитие высаженных деревьев и кустарников, способствует ускорению процессов самозарастания – стабилизации поверхности золоотвала, улучшения водного режима, обогащения субстрата элементами питания для растений. Опробован на золоотвале Нижнетуринской ГРЭС.

4. Для прекращения пыления и стабилизации поверхности золоотвала применяется посев на золе с применением лигнина, латекса, полиакриламида и других химических веществ.

5. Применение микробиологических препаратов для активации микрофлоры и стимуляции роста растений.

Следует отметить, что на Урале консервация золоотвалов с применением химических веществ в качестве покрытий для стабилизации поверхности и биопрепаратов для активации микрофлоры были опробованы в условиях опытных посевов, но не нашли широкого производственного применения.

Инвентаризация посевов показала, что на Среднем Урале (лесная зона) на золе с органическим покрытием из сеянных трав наибольшей устойчивостью обладают представители семейства Poaceae: *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Dactylis glomerata* L., *Festuca pratensis* Huds., *F. rubra* L., *Phleum pratense* L., *Elymus fibrosus* (Schrenk) Tzvel., из бобовых *Medicago media* Pers., *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC. Травостой последнего возобновлялся самосевом на ряде отвалов пять и более лет.

В лесостепной зоне (Южный Урал) лучшие результаты дают посевы *Medicago media* Pers., *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC., *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn.

Наблюдается на золоотвалах, особенно в лесной зоне, процесс самозарастания, но он чрезвычайно длителен, а в зонах с недостаточным увлажнением – и малоэффективен. Рекультивационные мероприятия ускоряют консервацию золоотвалов, способствуют прекращению пыления (на 2–3-й годы), дают возможность разнообразить экотопы и существенно корректировать формирование биогеоценозов в соответствии с поставленными задачами и выбранным направлением рекультивации.

Экологические основы биологической рекультивации промышленных отвалов, образованных при добыче угля открытым способом

На угольных месторождениях Урала добыча ведется открытым и подзем-

ным (шахтным) способом. Для месторождений с открытыми разработками характерен крупнокарьерно-отвальный вид техногенных ландшафтов либо только с внешними (Коркинский разрез ПО «Челябинскуголь»), либо с внешними и внутренними отвалами (разработки Карпинско-Волчанского буроугольного района). Характерной особенностью этого вида техногенного ландшафта является наличие глубоких карьеров (от 100 до 500 м) площадью до нескольких сотен га, платообразные или гребневидно-платообразные внешние и внутренние отвалы площадью от сотен до нескольких тысяч га. На угольных разрезах Урала преобладают по площади платообразные внешние отвалы железнодорожного и автомобильного типа складирования. В структуре нарушенных земель значительные площади заняты разрезами (карьерами) и гидроотвалами углеобогатительных фабрик и установок.

Для предприятий, ведущих добычу угля подземным способом, характерен шахтный просадочно-терриконикoвый вид техногенного ландшафта. Основными типами нарушенных земель являются конические терриконики, провалы, просадки, территории промплощадок шахт. Лишь в последние годы в целях борьбы с самовозгоранием терриконикoв на ряде предприятий Кизеловского угольного бассейна формируются плоские породные отвалы. Последние не требуют переформирования, их экологические условия более приемлемы для биологической рекультивации, но при одинаковом объеме пород они занимают значительно большую площадь, чем терриконики.

Исследования, связанные с проблемой биологической рекультивации, на угольных месторождениях Урала ведутся с середины 60-х годов. Имеются сведения по свойствам вскрышных и вмещающих пород отдельных месторождений и их классификации по пригодности для биологической рекультивации. Накопилось достаточно данных по характеристике отвалов, что дает возможность определять степень пригодности продуктов выветривания для поселения растений и биологической рекультивации. Эти данные при знании преобладающего породного состава отвалов помогают уточнить группу пригодности пород для биологической культивации.

Несмотря на разнообразие свойств пород, слагающих отвалы на этих месторождениях, можно выделить и некоторые общие черты. К непригодным для биологической рекультивации по химическим свойствам относятся сильнокислые сульфидсодержащие и сильнозасоленные породы. Тип засоления – хлоридно-сульфатный при избыточном содержании катионов кальция и магния. Непригодность пород по физическим свойствам определяется их сильной каменистостью. К таким породам относятся довольно распространенные на месторождениях мраморизированные известняки, сланцы, конгломераты и др.

В качестве примера, иллюстрирующего возможное место фитоценозов, сформировавшихся на нарушенных при добыче угля землях, в структуре растительного покрова региона взяты Кизеловский и Карпинско-Волчанский (отвалы Веселовского и Богословского месторождений) угольные бассейны. Характеристики вскрышных и вмещающих пород, слагающих отвалы, по пригодности для биологической рекультивации сильно различаются. В первом случае отвалы сложены непригодными для этих целей по физическим и химическим свойствам породами, так как преобладают скальные породы высокой прочности, продукты выветривания которых имеют сильнокислую реакцию среды (pH до 2,5), во втором – преимущественно малопригодными, где не исключается попадание в грунтосмеси потенциально плодородных пород, а на отдельных предприятиях – даже торфа. Остальные угольные месторождения Урала занимают в этом отношении промежуточное положение: разное соотношение групп пригодности, разнообразнее их характеристики.

Меры улучшения свойств пород и мероприятия биологического этапа рекультивации и направления использования рекультивированных территорий на рассмотренных отвалах принципиально отличаются, хотя расположены они в сходных зонально-климатических условиях с достаточным увлажнением (таежная зона).

Отвалы Кизеловского угольного бассейна. Характерной особенностью породных отвалов (терриконов и плоских) бассейна является сильная каменистость и очень кислая реакция среды. Исходя из этих показателей, породы,

слагающие эти отвалы, должны быть отнесены к непригодным для биологической рекультивации как по физическим, так и по химическим свойствам. Лишь очень старые отвалы возрастом более 40–50 лет при сильной каменистости в поверхностном слое имеют более благоприятную реакцию среды (кислую, слабокислую и близкую нейтральной). На существующих отвалах повсеместно наблюдается самовозгорание пород.

Резерв плодородного слоя почвы на всех предприятиях отсутствует, а потенциально плодородных и даже малопригодных пород, бедных элементами питания, очень мало. Породные отвалы оказывают сильное отрицательное воздействие на окружающие территории, загрязняя их за счет образования стоков сильнокислых вод, что приводит местами к полному уничтожению почвенного и растительного покровов. Площади и степень их воздействий различны и определяются местоположением и формой отвалов. Особенно они возрастают при расположении отвалов на естественных возвышениях, а при неровном рельефе местности в бассейне это случается довольно часто.

Острая необходимость рекультивации обусловливается требованиями улучшения санитарно-гигиенических условий и охраны окружающей среды. С учетом реальных возможностей предприятий разработана блок-схема биологической рекультивации плоских отвалов Кизеловского бассейна (рис. 5). При биологической рекультивации терриконов их необходимо переформировать в плоские отвалы. Коническую форму можно оставить отвалам возрастом свыше 50 лет, имеющим нейтральную реакцию среды.

Мероприятия технического этапа рекультивации на этих отвалах связаны с изоляцией и перекрытием непригодных для биологической рекультивации пород. Первоначально проводится переформирование терриконов или планировка поверхности плоских отвалов. Для нейтрализации фитотоксичных пород необходимо перекрытие вновь сформированной поверхности слоем нейтральной тяжелой глины, ее тщательное уплотнение. Это создает водоупорный слой, а также способствует предохранению нижележащих пород от самовозгорания. Создание изоляционного слоя можно заменить известкованием сформи-

рованной поверхности на глубину 0,5–0,8 м с последующим тщательным уплотнением. Дозировка извести рассчитывается в зависимости от кислотности пород.

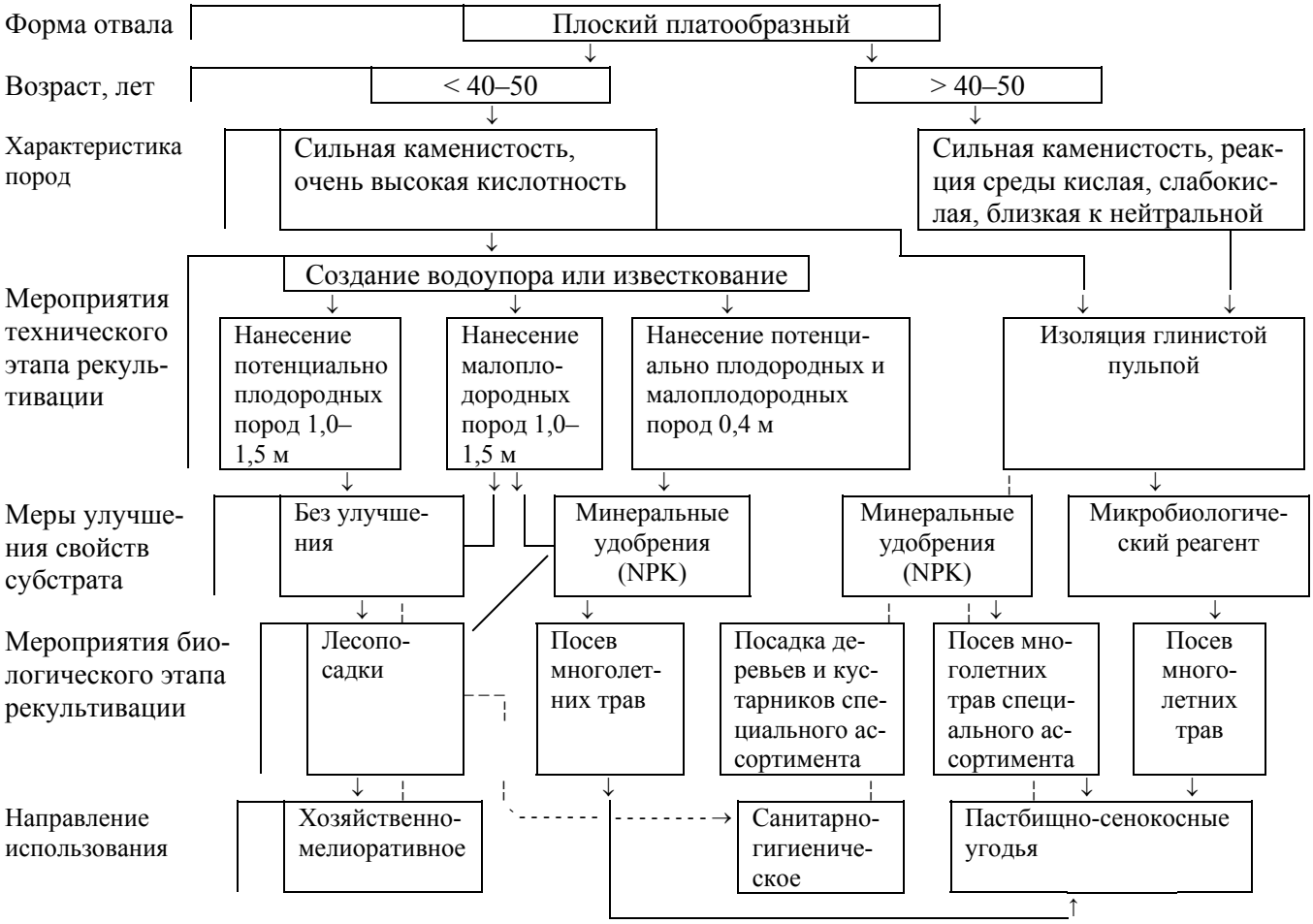

Рис. 5. Блок-схема биологической рекультивации отвалов Кизеловского угольного бассейна: варианты: основной (⟶) и дополнительный (- - - →)

Следующим мероприятием является нанесение на созданный водоупор слоя потенциально плодородных, а при отсутствии их – нетоксичных, малопригодных и малоплодородных пород. Мощность наносимого слоя будет зависеть от способа биологической рекультивации: под лесопосадки – от 1,0 до 1,5 м, под многолетние травы – 0,4 м. При отсутствии достаточного количества пригодных для перекрытия пород возможно уменьшение мощности рекультивационного слоя до 0,7 м под посадки деревьев и кустарников санитарно-озеленительного типа, если предварительно проводится глубокое известкование поверхностного слоя или внесение потенциально плодородных пород в по-

садочные ямы и траншеи.

После переформирования отвалов или при сохранении существующей формы на техническом этапе рекультивации необходимо создание вокруг отвалов направленного стока кислых шахтных вод, что способствует максимальному исключению их отрицательного воздействия на окружающие территории. При отсутствии или дефиците пригодных пород возможно уменьшение фитотоксичности поверхности старых отвалов не только плоской, но и конической формы путем заиливания глинистой пульпой. Этот прием широко используется при тушении самовозгорающихся отвалов, что делает биологическую рекультивацию возможной, но не ликвидирует все неблагоприятные свойства отвалов как специфических экотопов. Преодоление или сведение к минимуму неблагоприятных экологических условий возможно в двух направлениях: за счет улучшения всеми доступными способами свойств субстрата (водно-физических, агрохимических и др.) и подбора подходящего для этих условий ассортимента видов.

Меры улучшения свойств субстрата обычно сводятся к внесению комплекса минеральных и органических удобрений. Под многолетние травы рекомендуется внесение минеральных удобрений из расчета 90 кг азота, 60 кг фосфора, 60 кг калия действующего начала на 1 га при посеве, а также ежегодные подкормки. Под лесопосадки с хозяйственно-мелиоративным использованием целесообразно одноразовое внесение азота (3 ц/га), фосфора и калия (по 2 ц/га) действующего начала. В качестве сидерата рекомендуется посев донника в междурядья. При создании насаждений санитарно-гигиенического назначения дозу удобрений можно уменьшить вдвое.

Институтом ВНИИОСуголь МУП СССР разработан ускоренный способ рекультивации отвалов с применением микробиологического реагента (МБР), который опробован на отвалах Кизеловского бассейна и показал хорошие результаты (см. Раздел 2 данного учебного пособия).

Мероприятия биологического этапа рекультивации – посев многолетних трав и посадка деревьев и кустарников. При этом важен подбор ассортимента

устойчивых к повышенной кислотности субстрата и загазованности (из-за самовозгорания пород) видов, особенно если рекультивация проводится без перекрытия поверхности отвалов пригодными породами (вариант с глинистым заиливанием). При лесопосадках основными породами должны быть сосна обыкновенная (при отсутствии загазованности), лиственница, березы – бородавчатая и пушистая, ольха, ива козья, осина и др. Из многолетних трав можно рекомендовать кострец безостый, овсяницу красную, донники – белый и желтый. Ассортимент многолетних трав может быть расширен при дополнительных испытаниях районированных сортов. Рекомендуется двойная норма высева семян по сравнению с обычной полевой.

Направления использования определяются комплексом мероприятий технического и биологического этапов рекультивации (см. рис. 5). В любом случае биологическая рекультивация нейтрализует отрицательное воздействие отвалов на окружающую среду и способствует ее оздоровлению или позволяет возвратить отвальным площадям их хозяйственную ценность.

Отвалы Карпинско-Волчанского угольного района. Вопрос о рекультивации отвалов в бассейне серьезно встал в 1968–1970 гг. в связи с доработкой Богословского и Веселовского месторождений. К этому времени имелись инструктивные указания по рекультивации, где среди прочих условий предусматривалось обязательное покрытие поверхности рекультивированных отвалов почвой. Поэтому при проведении рекультивационных работ в бассейне основная проблема заключалась в том, что на значительных площадях отвалов (около 2 тыс. га на Богословском и 505 га на Веселовском месторождениях) почва для их покрытия совершенно отсутствовала. Необходимо было изыскать возможность рекультивации без почвенного покрытия.

Агрохимическое обследование показало, что грунтосмеси отвалов – сильнокаменистые, с преобладанием рыхлых пород, слабокислые, бедны азотом, подвижными формами фосфора, достаточно обеспечены обменным калием, незасоленные. Содержание углерода невелико.

Наиболее часто на промышленных отвалах фитотоксичность грунтосмесей обусловливается их высокой кислотностью или засоленностью. Грунтосмеси обследованных отвалов можно охарактеризовать как нетоксичные, но малопригодные для биологической рекультивации из-за бедности подвижными формами основных элементов питания для растений и сильной каменистости.

В то же время в окрестностях г. Карпинска под сельскохозяйственные угодья (посев многолетних трав и овса) осваивались почвы на месте вырубки леса и раскорчевки пней. Полученные таким образом земельные участки отличались низким плодородием, сильной каменистостью, высокой кислотностью и малым содержанием гумуса в почве. Сопоставление агрохимических характеристик этих почв и грунтосмесей подлежащих рекультивации отвалов показывало их сходство. Необходима была экспериментальная проверка степени пригодности грунтосмесей отвалов для биологической рекультивации. С этой целью были проведены опытные посевы многолетних трав, которые показали принципиальную возможность биологической рекультивации этих отвалов без почвенного покрытия.

Рекультивация отвалов, особенно биологическими методами, требует строгого индивидуального подхода с учетом конкретных экологических условий. С этой целью было проведено геоботаническое и агрохимическое обследование отвалов бассейна, результаты которого явились основой для составления проекта по рекультивации отвалов. Все площади отвалов были подразделены на группы:

1) не требующие биологической рекультивации, на поверхности которых сформировались устойчивые лесные фитоценозы;

2) требующие частичного хозяйственного вмешательства в виде подсадки саженцев сосны (2–3 тыс. на 1 га);

3) подлежащие биологической рекультивации без дополнительного перекрытия их поверхности почвой или другими пригодными для растений породами.

Выделение из общей пощади отвалов, отнесенных к первой группе, позволило существенно снизить проектную стоимость рекультивации.

Таким образом, на частично рекультивированных площадях отвалов вводу их в хозяйственный оборот предшествовали следующие мероприятия (см. об этом табл. 22):

1. Естественное восстановление лесных фитоценозов без вмешательства человека.

2. Лесная рекультивация – посадки саженцев сосны: а) без предварительной планировки поверхности отвалов и б) после грубой планировки бульдозером поверхности отвалов с сильно бугристым рельефом.

3. Сельскохозяйственная рекультивация – планировка поверхности, посев овса, тимофеевки луговой, костреца безостого с применением комплекса минеральных удобрений.

4. Самозарастание спланированной бульдозерами поверхности.

5. Использование спланированной бульдозерами территории отвалов для строительных нужд (в частности, для устройства аэродрома).

По сути дела, здесь речь шла об оптимизации техногенного ландшафта промышленных отвалов.

Таблица 22

Характеристика отвалов Карпинско-Волчанского буроугольного района

Отвалы	Время окончания отсыпки, лет	Высота насыпи, м	Угол склонов, град (°)	Преобладающие на поверхности породы	Состояние поверхности	Мероприятия технического этапа рекультивации	Мероприятия биологического этапа рекультивации
Богословское месторождение (2000 га)							
Лапчинские (№ 1, 2)	20–25	10–40	30–37	Аргиллиты, песчаники	Самозарастание после планировки	Планировка поверхности	–
Турьинские (№ 1, 3 и Копейский)	5–35	10–12	28–37	Глины, аргиллиты, песчаники	Рекультивирована Самозарастание без планировки	То же –	Лесопосадки (сосна), посев трав + N, P, K
Северный № 5	5–15	10–25	20–35	Известняки	Рекультивирована, аэродром	Планировка, укатка, частичное покрытие гравием	–
Отвалы № 5в, 10, 12, 12в	10–30	3–35	20–35	То же	Самозарастание без планировки	–	–
Веселовское месторождение (505 га)							
Северный	7–30	10–28	30–37	Песчаники, аргиллиты, глины	То же	–	–
					Самозарастание после планировки	Планировка бульдозером	–
					Посев многолетних трав и овса	То же	Внесение N, P, K посев тимофеевки и других культур
Южный	10–18	3–24	25–37	То же	Самозарастание без планировки.	-	-
					Лесопосадки	–	Механизированная посадка сосны
Волчанское месторождение (1326 га)							
Отвалы разреза № 6	15–20	5–17	25–35	Аргиллиты, алевролиты, выветрелые песчаники	Лесопосадки	Частичная планировка, упорядочивание бугров	Ручная посадка сосны

окончание таблицы 22

Отвалы	Время окончания отсыпки, лет	Высота насыпи, м	Угол склонов, град (°)	Преобладающие на поверхности породы	Состояние поверхности	Мероприятия технического этапа рекультивации	Мероприятия биологического этапа рекультивации
Отвалы разреза № 2:							
старый (149 га)	20–25	4–25	25–30	Аргиллиты, алевролиты, выветрелые песчаники, глины	Самозарастание без планировки	–	–
действующий (177 га)	10 (действующий)	25–40	30–40	Аргилиты, алевролиты, песчаники невыветрелые крепко сцементированные, известняки, галечники, глины	Не рекультивирована		
Отвал разреза № 3 (292 га)	То же	10–28	25–37	Глины, алевролиты, аргиллиты, песчаники	Самозарастание без планировки	–	–
Отвал разреза № 5 (660 га)	То же	20–40	25–40	Глины, алевролиты, аргиллиты, песчаники на известковом цементе, галечники	Не рекультивирована	–	–

С учетом имеющегося опыта биологической рекультивации отвалов в Карпинско-Волчанском бассейне и большого резерва площадей, подлежащих рекультивации, составлена обобщенная блок-схема рекультивационных мероприятий на отвалах (рис. 6). Сравнение ее со схемой отвалов Кизеловского угольного бассейна показывает, что более благоприятные для растений свойства пород позволяют упростить мероприятия технического этапа, которые сводятся к полной или частичной планировке поверхности отвалов. Создание продуктивных лесных угодий возможно без улучшения свойств субстрата. Использование комплекса органических и минеральных удобрений дает возможность создать продуктивные сельхозугодья. Перспективным представляется применение на этих отвалах ускоренного способа рекультивации с использованием активных штаммов микроорганизмов по разработанной технологии. При целевой разработке соответствующих рекомендаций отвалы могут быть использованы для создания садов и огородов. Таким образом, рекультивация отвалов в Кизеловском бассейне преследует основную цель: по возможности нейтрализовать отрицательное воздействие отвалов на окружающую среду, в первую очередь – на граничащие с ними фитоценозы. Результатом ее будут исключительно культурфитоценозы, долговечность, хозяйственная и эстетическая ценность которых определяются рекультивационными мероприятиями. Здесь необходимо моделирование фрагментов техногенного ландшафта, что требует очень больших затрат.

Иная картина наблюдается на более благоприятных по эдафическим условиям отвалах. Здесь предложенная схема прошла производственное опробование и успешно применяется при проектировании и практическом выполнении рекультивационных работ; восстановительные силы природы призваны сыграть свою роль. Так, около 20 % площадей отвалов выделены как не требующие биологической рекультивации, где лесные фитоценозы восстановились естественным путем. Общий спектр появившихся на отвалах фитоценозов достаточно разнообразен. На отвалах Веселовского и Богословского месторождений, где рекультивация осуществлена на больших площадях, наблюдаются естествен-

ные фитоценозы, возникшие в процессе самозарастания, полуестественные (подсадка саженцев сосны), культурфитоценозы в широком спектре – от посадок сосны с минимальным последующим уходом до посевов многолетних трав сенокосно-пастбищного использования (постоянный разной интенсивности уход). На отвалах, сложенных потенциально плодородными породами или с примесью торфа, созданы агрофитоценозы с постоянной и наиболее кардинальной регуляцией (посадка картофеля, посев овса и ячменя и др.). На подобных отвалах при разработке специальной технологии возможно создание садов и огородов.

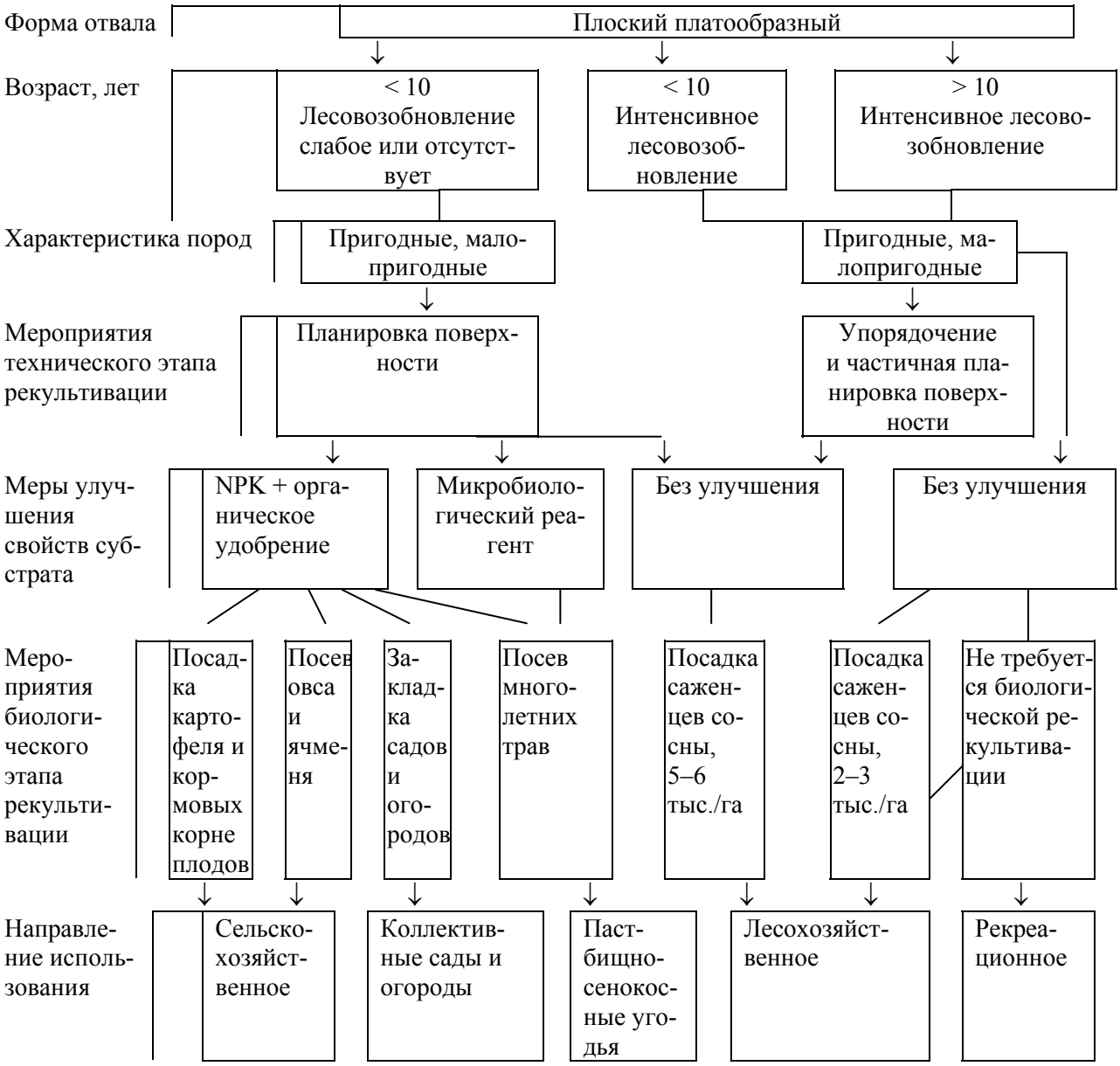

Рис. 6. Блок-схема биологической рекультивации отвалов Веселовского и Богословского угольных месторождений

Рекультивация с коренным улучшением свойств субстрата на Урале производится очень редко из-за отсутствия запасов почвы и потенциально плодородных пород. Чаще осуществляется разработка способов биологической рекультивации путем закладки опытных стационаров, где испытываются различные варианты, предусматривающие частичное улучшение свойств субстрата – такие, как внесение комплекса органических и минеральных удобрений, древесных опилок, золы тепловых электростанций, ила очистных сооружений, полив осветленными сточными водами и т. д. Основной задачей при этом является подбор ассортимента видов, пригодных для данных конкретных условий. С биологической точки зрения происходит определение толерантности взятых для испытания видов к специфическим условиям отвалов, а вернее, к сложному комплексу условий. Наиболее пригодными для этих целей оказались многолетние травы, а подробное изучение процесса естественного зарастания дает возможность обоснованно подходить к их ассортименту.

Наиболее характерным примером подобного вида работ является разработка способов биологической рекультивации Коркинского угольного разреза в режиме сухой консервации. Коркинский разрез представляет собой многоуступную чашу с размерами в плане 3 х 2,2 км и глубиной свыше 500 м (принятая проектная – 570 м), площадь по поверхности – более 800 га. Зональное положение разреза (лесостепная зона) обеспечивает вполне благоприятные условия для биологической рекультивации, но большая глубина и свойства пород чрезвычайно ее затрудняют. Значительная масса вскрышных пород составлена смесью сульфидсодержащих опоковидных глин, углистых коренных пород, третичных глин и скальных пород (песчаников, конгломератов, сидеритизированных алевролитов и др.) – непригодных или малопригодных для биологической рекультивации. Четвертичные породы часто засолены. Учет гидрогеологических и гидрологических условий разреза показал, что единственно возможной является его сухая консервация. Направление биологической рекультивации – природоохранное, санитарно-гигиеническое.

На породах с разной характеристикой (табл. 23) испытано 13 видов мно-

голетних трав и 20 – деревьев и кустарников в двух вариантах: I – порода: II – порода + $N_{90}P_{60}K_{60}$.

Проведенные испытания многолетних трав позволили охарактеризовать высоту травостоя, темп развития и способность к семенному возобновлению в условиях разреза и определить их ассортимент для разных пород и с учетом направления использования (табл. 24). Следует учесть, что возможности улучшения свойств субстрата в разрезе весьма ограничены.

В таблице 24 условно приняты следующие значения:

1. Высота травостоя: низкий – основная масса растений (> 80 %) ниже 25 см; средний – основная масса растений 25–60 см; высокий – основная масса растений выше 60 см.

2. Темп развития условно определяется временем, когда культурфитоценоз достигает максимальной продуктивности: на 2–3-й год – быстрый, на 4–5-й – средний, на 6–7-й – медленный. Темпом развития определяется и долголетие посева.

3. Способность к семенному возобновлению определяется в период максимального развития культурфитоценоза и имеет следующее соответствие: слабая – всхожесть собранных семян не более 10 %, в культурфитоценозе имеются единичные всходы и молодые растения; удовлетворительная – всхожесть собранных семян 10–80 %, всходы и молодые растения составляют 10–30 % от общего числа особей; хорошая – всхожесть собранных семян более 80 %, наблюдаются массовые всходы и молодые растения.

Учет данных таблица 24 позволяет прогнозировать состояние культурфитоценозов из испытанных видов. Например, посевы красного и гибридного клевера можно рекомендовать лишь на плодородных и потенциально плодородных породах. Обладая быстрым темпом развития, они на 2-й или 3-й год при соответствующей агротехнике дают максимальную надземную массу, но на 4–5-й могут почти полностью деградировать, при этом семенного возобновления не наблюдается. В посевах люцерны семенное возобновление слабое, но они

Агрохимическая характеристика грунтов опытных участков Коркинского угольного разреза Таблица 23

№ уча-стка	Глубина, м	pH		Сухой оста-ток, %	Тип засоления	C, %		P_2O_5	K_2O
		водный	солевой			Общий	Гумус	мг / 100 г	
I	39	2,26–6,64	Не опр.	0,51–1,57	Сульфатный, магниево-кальциевый	Не опр.	Не опр.	1,70–4,85	2,3–21,1
II	52	2,38–6,20	Не опр.	0,88–1,56	То же	Не опр.	Не опр.	2,23–3,93	1,9–17,6
III	14	4,70–8,45	4,27–7,52	0,12–1,04	Сульфатный, кальциевый	0,46–5,86	0,18–1,31	0,45–3,59	6,5–19,6
IV	72	4,20–8,10	3,93–7,20	1,09–1,74	То же	1,40–6,10	0,30–1,19	0,45–3,34	6,5–19,5
V	64	6,70–8,48	6,35–7,35	0,24–0,54	Не засолен	1,18–8,75	0,25–0,56	0,47–3,19	8,8–22,3
VI	10	2,75–6,75	2,63–6,43	0,84–2,87	Сульфатный, кальциевый	1,80–9,51	0,30–1,99	0,49–2,16	9,0–15,6

Ассортимент многолетних трав для Коркинского угольного разреза Таблица 24

Вид	Высота травостоя	Темп развития	Способность к семенному возобновлению	Рекомендуемые породы*	Направление использования посева
Злаки					
Волоснец сибирский	Низкий, средний	Средний	Слабая	Малопригодные	Озеленение; санитарно-гигиеническое
Житняк гребенчатый	Средний	Средний	Хорошая	”	Сенокосные угодья
Кострец безостый	Средний, высокий	Медленный	Удовлетворительная, хорошая	”	”
Овсяница луговая	Средний	То же	Слабая, удовлетворительная	Пригодные, потенциально плодородные	Озеленение; санитарно-гигиеническое
Полевица белая	Низкий, средний	”	То же	Малопригодные	То же
Пырей безкорневищный	Средний	Средний	”	”	”
Регнерия волокнистая	То же	”	”	”	Сенокосные угодья
Тимофеевка луговая	Средний, высокий	”	Удовлетворительная, хорошая	”	”
Бобовые					
Донник желтый двухлетний	Средний, высокий	Быстрый	Удовлетворительная	Малопригодные	Культура сидерат
Клевер гибридный	Средний	”	Не наблюдалась	Пригодные, потенциаль-но-плодородные	Сенокосные угодья; декоративное
Клевер красный	”	”	”	”	”
Люцерна пестрогиб-ридная	Средний, высокий	Медленный	Слабая	Малопригодные	Сенокосные угодья
Эспарцет песчаный	Высокий	Медленный	Хорошая	”	”

Примечание: * – Группа пригодности пород для биологической рекультивации приведена согласно их классификации (см. табл. 6 Раздел 2).

удаются на малоплодородных породах и из-за медленного темпа развития являются долголетними. Несколько иная судьба посевов из видов, способных к семенному возобновлению, где состояние и долголетие в значительной степени определяются ею. Так, культурфитоценозы тимофеевки луговой при соответствующем уходе длительное время могут находиться в хорошем состоянии за счет семенного возобновления.

Проведенные эксперименты позволили убедиться в возможности создания культурфитоценозов в угольном разрезе при минимальных затратах на улучшение свойств субстрата и подобрать ассортимент многолетних трав, деревьев и кустарников для этих целей. Умелое моделирование экотопов в разрезе, посев многолетних трав, посадка деревьев и кустарников подходящего ассортимента способствуют увеличению видового и фитоценотического разнообразия растительного покрова разреза и ускоряют его формирование.

Оценка качества фитомассы с учетом содержания тяжелых металлов

Вооруженный средствами техники и опирающийся на достижения современной науки человек в наши дни выступает как природообразующий фактор, по мощи и скорости воздействия сопоставимый с геологическими силами природы.

В развитых странах постоянно увеличивающаяся добыча и переработка природных ресурсов является причиной широкого распространения техногенных ландшафтов, или природно-техногенных комплексов, которые представляют собой сочетание техногенных новообразований с техногенными модификациями естественных биогеосистем, преобразованными в различной степени и охватывающими пространства, равные природным ландшафтным категориям. При этом уничтожаются огромные площади ценных сельскохозяйственных угодий, нарушаются сложившиеся геохимические потоки, миграционные циклы, и в биологический круговорот вовлекаются повышенные (часто токсичные) концентрации химических элементов (см.: Колесников, Моторина, 1978).

Одним из важных аспектов биологической рекультивации является изучение пригодности нарушенных земель для использования в одном из следующих направлений биологической рекультивации: сельскохозяйственное, лесохозяйственное, озеленение санитарно-гигиенического типа и др.

Это указывает на необходимость изучения химического состава растений в техногенных ландшафтах вообще и на послепромышленных отвалах в частности. При добыче полезных ископаемых карьерным способом слои пород по существующей технологии, наиболее близко расположенные к рудному телу, часто оказываются на поверхности отвалов. Весьма естественно ожидать, что растения, поселяющиеся на них в результате самозарастания или внедренные человеком, будут накапливать добываемые или сопутствующие элементы в более высоких концентрациях, чем вне районов месторождений.

Среди многочисленных загрязнителей особое место занимают ТМ. К ним условно относят химические элементы с атомной массой свыше 50, обладающие свойствами металлов или металлоидов. Считается, что среди элементов тяжелые металлы являются наиболее токсичными для живых организмов. Согласно классификации Дж. Вуда, к очень токсичным отнесены следующие химические элементы (большинство из них ТМ): Be, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Te, Rb, Ag, Cd, Au, Hg, Pb, Sb, Bi, Pt. Может показаться странным, что в эту группу отнесены Mn, Zn, Cu, Co, Mo, широко известные под названием микроэлементов, большая физиологическая значимость которых в процессах метаболизма не только научно доказана, но и используется в практике сельского хозяйства и медицине. Однако все дело в концентрации химического элемента в среде обитания: при дефиците его содержания для живых организмов он рассматривается как микроэлемент, при избытке – как тяжелый металл.

Избыточное содержание в среде обитания или в пище любого химического элемента – нежелательный факт, поэтому будет правильнее говорить не о токсичных элементах, а о токсичных концентрациях. Уместно напомнить мнение А. П. Виноградова (1962) о безусловной необходимости для живых организмов всех без исключения химических элементов.

Исследования показали, что микроколичества многих элементов не являются примесями, а играют важную физиологическую роль в нормальной жизнедеятельности организмов. Недостаток или избыток их в среде обитания организма приводит к различным заболеваниям. Так, например, недостаточное содержание Mo приводит к усыханию краев листьев, появлению темных пятен, уменьшению плодоношения. Пониженные концентрации Zn у плодовых деревьев приводят к розеточной болезни, пятнистости и хлоротичности листьев. Недостаток Cu вызывает суховершинность у древесных, болезнь обработки у травянистых, хлороз, усыхание. Избыточные концентрации Mo, Mn, Co, Ni, Cu, Zn приводят к появлению уродливых форм растений. Предельно допустимые количества тяжелых металлов в почве и пороговые концентрации элементов в растениях приведены в таблицах 25 и 26 (см.: Ильин, 1991; Ковальский, 1974 соответственно).

Дефицит и избыток микроэлементов в пище животных и человека также нежелателен. При недостатке Mn у животных нарушается окостенение скелета, атрофия половых желез, замедление роста; высокие концентрации его вызывают цирроз печени, марганцевый рахит. Недостаток и избыток Co и Cu вызывает поражение кроветворных органов, почек, желудочно-кишечного тракта, печени. У крупного рогатого скота появляются сухотка, атаксия. В последнее время показано, что канцерогенными действиями в повышенных концентрациях обладают Pb, Ni, Cr, Co, Cu, Mn, V и другие химические элементы (см. об этом: Махонина, 1987).

Всего в субстрате южного борта Коркинского разреза обнаружено 23 элемента. Кроме того, пробы в разрезе отобраны на разной глубине (30, 150, 237–247 м) и с учетом процесса самозарастания, т. е. под растительностью и без растений (табл. 27).

Среднее содержание Ni колеблется от $3{,}7\times10^{-3}$ до $18{,}0\times10^{-3}$ %. Этот показатель не имеет тесной зависимости от глубины, но проявляется некоторая тенденция более высокого содержания этого элемента на субстрате без растений. В

Таблица 25

Предельно допустимые количества тяжелых металлов в почве, $n \times 10^{-3}$ %

Элемент	по Tietjen		по Kloke	
	Концентрация в нормальной почве	ПДК	Обычное содержание в почве	ПДК
Co	0,1–5	5	0,1–1	5
Cr	0,1–10	10	0,2–5	10
Cu	0,2–10	10	0,1–2	10
Mo	0,02–1	1	0,02–0,5	0,5
Ni	0,1–10	10	0,2–5	5
Pb	0,01–10	10	0,01–2	10
Sn	–	–	0,1–2	5
Ti	–	–	1–500	500
V	–	–	1–10	10
Zn	1–30	30	0,3–5	30
Zr	–	–	0,1–30	30

Таблица 26

Пороговые концентрации элементов в растениях, $n \times 10^{-3}$ %

Элемент	Среднее содержание	Недостаток	Норма	Избыток
Cu	0,64	до 0,3–0,5	0,3–1,2 и выше	2–4
Zn	2,10	2–3	2–6 и выше	6–10
Ni	0,30	–	0,04–4	5,5–18,8
Co	0,03	до 0,025	0,025–0,1	0,1
Mn	7,30	до 2	2–6	6–7
Pb	0,27	...	...	...

большей или меньшей степени подобная тенденция проявляется на глубине до 150 м для Cu, Sn, Zn, где наблюдается наиболее интенсивный процесс самозарастания. На глубине 237–247 м подобная тенденция практически не прослеживается. На наш взгляд, это связано с тем, что там горные работы закончены недавно, наблюдается лишь фрагментарное поселение растений, не закончен процесс экотопического отбора.

Анализ содержания тяжелых металлов в зависимости от глубины взятия проб (табл. 28), т. е. с учетом процесса выветривания и начальных этапов почвообразования под влиянием растительности, также не показал четкой закономерности. Некоторая дифференциация содержания тяжелых металлов по слоям корнеобитаемого горизонта для своего объяснения требует дополнительных исследований.

Более четкое представление о содержании тяжелых металлов в субстрате поверхности Коркинского разреза дает обобщенная таблица 29. Породы разреза по средней концентрации наиболее близки к глинистым породам (см.: Виноградов, 1962). Для них характерно наиболее высокое относительное содержание Cu, Sc, в некоторых породах Cr, Ni, Co, в 1,2–1,5 раза Zn и Pb. Значительно ниже в породах разреза отностительное содержание Mn, Zr, Mo, Sn, Be, Sr, Y (табл. 29).

Анализ содержания тяжелых металлов в растениях проведен по двум направлениям. С одной стороны, определено среднее содержание ТМ в надземной массе растений по ботаническим группам, когда анализировались отдельно бобовые, злаки и сложноцветные (табл. 30). Кроме того, с целью изучения накопительной способности растений разными частями изучалось содержание ТМ в корневых системах выше названных групп растений. Коркинский разрез находится в лесостепной зоне. Для сравнительного анализа приведены литературные данные содержания элементов в надземной массе растений для тайги и средние для континентов (см. об этом: Виноградов, 1962). Хотя подобное сравнение не очень корректно, все же мы его использовали, не имея в данный момент других исходных данных.

Таблица 27

Содержание тяжелых металлов в субстрате южного борта Коркинского угольного разреза

I	II	lim	Содержание элементов, n×10^{-3} %																					
			Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Sc	P	Ge	Cu	Pb	Ag	As	Mo	Ba	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	Li	Zn
30	А	*min*	4,0	2,0	15,0	30,0	10,0	300	0	100	0,1	4,0	2,0	0,020	0	0,2	50,0	0,4	0,10	5,0	1,5	0,7	0	1,0	7,0
		max	10,0	5,0	20,0	50,0	30,0	700	1,8	1000	0,2	18,0	7,0	0,030	7,0	0,2	150,0	0,7	0,20	10,0	2,0	1,5	0,7	2,0	20,0
		*X*ср.	8,2	3,6	16,6	42,0	22,0	520	0,9	500	0,2	12,4	3,8	0,022	3,4	0,2	82,0	0,5	0,16	8,2	1,7	1,2	0,4	1,3	13,4
	Б	*min*	15,0	10,0	20,0	30,0	15,0	500	1,5	300	0,3	30,0	5,0	0,030	30,0	0,7	70,0	1,0	0,20	10,0	2,0	2,0	0,5	2,0	30,0
		max	15,0	10,0	30,0	30,0	30,0	700	2,0	400	0,3	45,0	5,0	0,030	30,0	1,0	100,0	2,0	0,30	20,0	2,0	2,0	0,5	2,0	45,0
		*X*ср.	15,0	10,0	25,0	30,0	22,5	600	1,7	350	0,3	37,5	5,0	0,030	30,0	0,9	85,0	1,5	0,25	15,0	2,0	2,0	0,5	2,0	37,5
150	А	*min*	3,0	2,0	9,0	10,0	15,0	300	0	150	0	5,0	2,0	0	0	0,1	50,0	0,3	0,10	4,0	1,5	1,0	0	0	10,0
		max	15,0	10,0	15,0	60,0	30,0	900	2,0	700	0,2	20,0	5,0	0,020	10,0	0,7	100,0	0,7	0,40	20,0	3,0	3,0	0,7	1,0	30,0
		*X*ср.	8,9	4,90	12,6	26,7	21,0	544	1,2	394	0,1	11,7	3,3	0,018	3,6	0,2	70,0	0,5	0,24	10,0	1,9	1,5	0,4	0,6	16,1
	Б	*min*	3,0	0,3	10,0	10,0	15,0	500	0	200	0,2	6,0	3,0	0,020	0	0,1	50,0	0,4	0,15	7,0	1,0	0,7	0,4	0	7,0
		max	20,0	7,0	15,0	50,0	30,0	900	1,8	700	0,2	20,0	4,0	0,030	7,0	2,0	150,0	1,0	0,30	20,0	2,0	1,8	0,7	2,0	40,0
		*X*ср.	10,4	4,0	13,8	30,0	19,5	675	0,8	488	0,2	13,3	3,6	0,026	4,9	0,4	81,3	0,6	0,24	10,3	1,7	1,4	0,5	1,1	21,3
	В	*min*	15,0	6,0	15,0	15,0	15,0	600	1,0	400	0,2	10,0	5,0	0,020	5,0	0,2	70,0	0,5	0,20	10,0	2,0	1,0	0,5	1,0	15,0
		max	20,0	10,0	30,0	20,0	20,0	900	1,5	500	0,3	15,0	10,0	0,020	10,0	0,7	70,0	0,7	0,30	10,0	3,0	2,0	0,7	2,0	20,0
		*X*ср.	18,0	8,0	22,5	18,0	18,0	750	1,3	450	0,2	12,5	7,5	0,020	7,5	0,4	70,0	0,6	0,25	10,0	2,5	1,5	0,6	1,5	18,0
237–247	А		5,0	3,0	15,0	60,0	20,0	700	1,5	200	0,2	9,0	3,0	0,018	5,0	0	60,0	0,5	0,18	9,0	2,0	1,0	0,5	0	18,0
	Б	*min*	3,0	0	10,0	10,0	10,0	400	0	150	0,2	4,0	3,0	0	–	0,1	50,0	0,3	0,15	7,0	1,8	0,7	0,3	1,0	7,0
		max	4,0	0,5	15,0	20,0	20,0	600	1,5	200	0,2	7,0	5,0	0,030	–	0,2	70,0	0,5	0,20	9,0	3,0	1,5	0,5	1,0	7,0
		*X*ср.	3,7	0,3	11,7	13,0	15,0	500	0,8	167	0,2	6,0	4,0	0,016	–	0,1	63,0	0,4	0,18	8,3	2,3	1,1	0,4	1,0	7,0
	В		10,0	10,0	30,0	50,0	20,0	500	0	400	0,3	7,0	3,0	0,020	–	0,5	70,0	1,0	0,15	15,0	2,0	1,0	0,5	2,0	15,0
Среднее содержание в почвах			0,2	4,0	20,0	85,0	10,0	460	–	–	–	0,8	1,6	–	–	1,0	50,0	30,0	0,60	30,0	3,0	5,0	–	–	5,0

Примечание: I – глубина разреза, м; II – место взятия пробы: А – под растениями, Б – без растений, В – без растений (0–20 см).

Таблица 28

Среднее содержание микроэлементов в субстрате южного борта Коркинского угольного разреза в зависимости от глубины взятия пробы

Глубина разреза, м	Глубина взятия пробы, см	Среднее содержание элементов, $n \times 10^{-3}$ %																	
		Ni	Co	Cr	Mn	V	Ti	Cu	Zn	Pb	Ag	Mo	Ba	Sr	Sn	Be	Zr	Ga	Y
0	0–2	7,0	3,0	10,0	90,0	10,0	600	10,0	18,0	5,00	0,018	0,10	70	70,0	0,70	0,18	5,0	1,80	1,00
	2–7	9,0	4,0	10,0	90,0	15,0	500	15,0	18,0	7,00	0,030	0,20	90	50,0	1,00	0,15	5,0	1,50	1,00
	7–20	5,0	5,0	10,0	70,0	10,0	600	10,0	20,0	3,00	0	0,30	70	50,0	0,50	0,15	10,0	1,50	1,00
10–20	0–2	8,5	11,0	10,0	75,0	14,0	550	10,0	17,5	3,00	0,010	0,20	70	0	0,35	0,20	7,0	1,75	1,25
	2–7	7,0	4,0	12,5	65,0	24,0	400	8,0	15,0	3,50	0,020	0,15	60	0	0,40	0,16	6,0	1,50	1,00
	7–20	7,0	4,0	10,0	70,0	15,0	300	9,0	15,0	10,00	0,015	0,15	50	0	0,40	0,18	5,0	1,50	1,50
30	0–2	10,0	5,0	20,0	40,0	30,0	600	15,0	15,0	7,00	0,020	70,00	50	0,7	0,20	10,0	1,8	1,50	0
	2–7	15,0	10,0	20,0	30,0	15,0	700	10,0	45,0	5,00	0,030	0,70	100	0	0,10	0,20	10,0	2,00	2,00
	7–20	12,5	7,0	22,5	30,0	30,0	650	16,5	25,0	3,50	0,030	0,10	60	0	1,35	0,20	12,5	1,75	1,50
40	0–2	15,0	15,0	15,0	30,0	30,0	1000	15,0	30,0	2,00	0,020	0,50	100	30,0	0,50	0,30	20,0	3,00	3,00
	2–7	12,5	7,0	12,5	25,0	25,0	600	22,5	30,0	3,00	0,010	0,22	95	0	0,40	0,19	9,5	1,90	1,50
	7–20	18,5	16,0	12,5	52,5	20,0	750	10,0	24,0	2,75	0,020	0,55	125	0	0,40	0,22	4,5	1,90	1,00
145	0–2	17,5	6,0	15,0	20,0	25,0	800	15,0	25,0	4,50	0,020	0,22	70	0	0,55	0,25	9,5	1,90	2,00
	2–7	13,5	5,0	10,0	20,0	19,0	450	15,0	27,5	3,00	0,020	0,15	55	0	0,60	0,18	9,5	1,50	1,65
	7–20	10,0	3,5	15,0	30,0	30,0	500	15,0	16,5	4,50	0,020	1,07	60	0	0,85	0,19	8,0	1,90	1,25
150	0–2	6,5	3,0	12,0	40,0	18,0	400	10,0	12,5	3,00	0,010	0,15	80	0	0,40	0,22	8,5	1.50	1,40
	2–7	9,0	4,5	10,0	40,0	16,5	500	11,5	22,5	3,00	0,010	0,20	85	15	0,45	0,20	8,5	1,90	1,25
	7–20	6,0	2,0	9,0	60,0	18,0	300	5,0	15,0	3,00	0,020	0,10	50	0	0,50	0,15	4,0	1,50	1,00
180	0–2	10,0	7,0	15,0	50,0	20,0	600	10,0	15,0	3,00	0,015	0,10	70	0	0,50	0,30	10,0	2,00	1,50
	2–7	15,0	15,0	15,0	30,0	15,0	900	9,0	20,0	3,00	0,020	0,03	150	0	0,30	0,50	15,0	2,00	1,00
200	0–2	8,5	8,5	15,0	55,0	12,5	800	15,0	15,0	3,50	0,020	0,40	85	0	0,50	0,35	8,5	2,00	1,50
	2–7	8,5	3,5	1,5	45,0	12,5	600	8,0	15,0	2,00	0,010	0,15	95	0	0,35	0,20	5,5	1,80	1,50
	7–20	6,5	3,0	10,0	35,0	20,0	550	6,5	13,5	2,50	0,010	0,25	100	0	0,35	0,24	7,5	1,40	1,40
237	0–20	12,5	10,0	20,0	35,0	20,0	500	8,5	22,5	2,50	0,020	0,40	65	0	0,70	0,22	12,0	1,75	1,40

Таблица 29

Обобщенная характеристика микроэлементного состава субстрата Коркинского угольного разреза

Элемент	Средняя концентрация в глинистых породах по А. П. Виноградову (1962), %	Относительное содержание в породах Коркинского разреза
Mn	0,0670	< в 2 раза
Ni	0,0095	> в 1,5–2,5 раза
Co	0,0020	> в 1,5–3,0 раза
V	0,0130	Норма
Ti	0,4500	Норма
Cr	0,0100	Норма – > в 2,5 раза
Zr	0,0200	< в 3 раза
Mo	0,0002	< в 2–3 раза – норма
Cu	0,0057	> в 3–5 раза
Zn	0,0080	> в 1,2–1,4 раза
Pb	0,0020	> в 1,5 раза
Sn	0,0010	< в 2–3 раза
Be	–	< в 2–6 раз
Ba	0,0760	Норма – > в 1,4 раза
Sr	0,0450	< в 3 раза
Sc	0,0010	> в 2–3 раза
Ga	0,0030	< в 1,5–2 раза
Y	0,0030	< в 2,5–5 раз

Проведенное сравнение показало очень большое превышение содержания ТМ в надземной массе растений из Коркинского разреза на два и более порядков Co, Ti, Pb, Ag, Mo, Sn, Be, Zr, V по сравнению с соответствующими данными по тайге и средним содержанием по континенту. Содержание Mn, Zn, Ba, Sr ниже «исходного» их значения по тайге и континенту.

Следует отметить, что полученные данные требуют более глубокого анализа в плане влияния повышенного или пониженного содержания этих элементов. Тем более что для содержания всех элементов характерен значительный уровень изменчивости, достаточно специфичный как для разных элементов, так и для субстрата, надземной массы и корней (табл. 31).

Анализ содержания ТМ в разных частях растений показал, что более высокое содержание в корнях имеют Ni, Cr, Mn, V, Zn, Zr, а в надземной массе – Co, Ti, Cu, Pb, Ag, Mo, Sn, Be (см. табл. 30).

Таблица 30

Среднее содержание тяжелых металлов в надземной массе и корневой системе растений Коркинского угольного разреза по ботаническим группам

Элемент	Бобовые	Злаки	Сложноцветные	Содержание элементов в надземной массе растений, $n\times10^{-3}$ %	
				тайги	континентов
Ni	7,00 / 10,00	8,00 / 27,00	9,00 / 19,00	1,0 / –	5,0 / –
Co	24,00 / 1,20	16,00 / 7,00	39,00 / 3,00	0,2 / –	1,5 / –
Cr	8,00 / 9,00	9,00 / 18,00	8,00 / 10,00	5,0 / –	200 / –
Mn	62,00 / 105,00	82,00 / 154,00	76,00 / 134,00	100 / –	750 / –
V	7,00 / 13,00	7,00 / 20,00	7,00 / 13,00	1,0 / –	6,1 / –
Ti	363,00 / 255,00	282,00 / 347,00	342,00 / 280,00	5,0 / –	100 / –
Cu	11,0 / 8,00	11,00 / 12,00	11,00 / 11,00	10 / –	20 / –
Zn	7,00 / 12,00	19,00 / 26,00	17,00 / 20,00	20 / –	20 / –
Pb	22,00 / 2,70	28,00 / 4,30	21,00 / 2,90	0,7 / –	– / –
Ag	18,00 / 0,04	33,00 / 0,07	18,00 / 0,09	0,02 / –	1,0 / –
Mo	46,00 / 1,00	10,00 / 0,40	9,00 / 1,00	0,4 / –	2,0 / –
Ba	45,00 / 42,00	37,00 / 50,00	40,00 / 45,00	700 / –	$n\times10$ / –
Sr	24,00 / 27,00	19,00 / 17,00	23,00 / 36,00	200 / –	30 / –
Sn	38,00 / 0,25	50,00 / 0,49	35,00 / 0,25	следы / –	0,5 / –
Be	8,00 / 0,12	5,00 / 0,19	16,00 / 0,12	не обн. / –	0,2 / –
Zr	5,00 / 9,00	7,00 / 12,00	4,00 / 10,00	– / –	$n\times0,1$ / –

Примечание: В числителе – результаты по надземной массе, в знаменателе – по корневой системе.

Для Ba и Sr соотношение содержания в надземной массе и корнях в разных ботанических группах различно. Так, незначительное превышение Ba в корнях характерно для злаков и сложноцветных, а в надземной массе – для бобовых. По Sr картина несколько иная: выше содержание этого элемента в кор-

нях бобовых, и особенно сложноцветных, а для злаков – выше содержание Sr в надземной массе. В связи с этим несколько отличаются ряды концентраций микроэлементов в надземной массе и корнях в растениях Коркинского угольного разреза по ботаническим группам (табл. 32).

Таблица 31

Уровни изменчивости содержания микроэлементов в субстрате, надземной массе и корневой системе растений Коркинского угольного разреза

Коэффициент вариации, %	Микроэлементы		
	в субстрате	в надземной массе	в корнях
0–20	Zr	–	–
21–40	V, Ti, Ba, Be, Ga, Y	–	Cr, V, Ti, Ag, Ga, Y
41–60	Cr, Mn, Sr	Cr, V, Ti, Cu, Ba, Sr, Ga	Ni, Mn, Cu, Zn, Pb, Ba, Sn, Zr
61–80	Cu, Zn, Ag	Mn, Zn, Zr	Co
81–100	Ni, Mo, Sn	–	–
> 100	Co, Pb	Ni, Co, Pb, Ag, Mo, Sn, Be	Mo, Sr, Be

Таблица 32

Ряды концентраций микроэлементов в надземной массе и корневых системах растений Коркинского угольного разреза по ботаническим группам

Элементы	Ряды концентраций по убыванию	
	Надземная масса	Корни
Ni	3 > 2 > 1	2 > 3 > 1
Co	3 > 1 > 2	2 > 3 > 1
Cr	2 > 3 = 1	2 > 3 > 1
Mn	2 > 3 > 1	2 > 3 > 1
V	2 = 3 = 1	2 > 3 = 1
Ti	1 > 3 > 2	2 > 3 > 1
Cu	1 = 2 = 3	2 > 3 > 1
Zn	2 > 3 > 1	2 > 3 > 1
Pb	2 > 1 > 3	2 > 3 > 1
Ag	2 > 3 = 1	3 > 2 > 1
Mo	1 > 2 > 3	1 = 3 > 2
Ba	1 > 3 > 2	2 > 3 > 1
Sr	2 > 3 > 1	3 > 1 > 2
Sn	2 > 1 > 3	2 > 1 = 3
Be	3 > 1 > 2	2 > 1 = 3
Zr	2 > 1 > 3	2 > 3 > 1

Примечание: 1 – бобовые, 2 – злаки, 3 – сложноцветные.

Определенный интерес представляет анализ накопительной способности ТМ надземной массой и корнями растений в разрезе. Эта способность хорошо

проявляется при рассмотрении КБП – коэффициентов биологического поглощения (табл. 33). Энергично накапливаются следующие ТМ: в надземной массе всех групп растений – Ag, Mo, Sn, Be, в корнях энергично накапливающихся элементов нет. К группе сильно накапливающихся элементов (КБП от 10 до 1) по надземной массе относятся Co, Mn, Cr, Zn, Pb, по корням – Zr, Ag, Mo. Слабо накапливаются (КБП 1–0,1) в корнях и надземной массе растений разреза Ba, Zn, Ti, V.

Таблица 33

Средние значения коэффициентов биологического поглощения элементов надземной массой и корневой системой растений Коркинского угольного разреза

Элемент	Бобовые	Злаки	Сложноцветные
Ni	0,80 1,20	0,93 3,24	1,05 2,25
Co	5,60 0,25	3,70 1,47	9,10 0,66
Cr	0,55 0,73	0,61 0,67	0,55 0,82
Mn	1,80 1,99	2,40 2,93	2,20 2,54
V	0,30 0,76	0,30 1,18	0,30 0,80
Ti	0,70 0,46	0,50 0,63	0,60 0,50
Cu	0,90 0,90	0,90 1,34	0,90 1,18
Zn	0,50 0,73	1,30 1,52	1,20 1,00
Pb	6,30 0,73	8,00 1,19	6,00 0,78
Ag	900 2,00	1650 3,50	900 4,50
Mo	242 4,61	53,0 1,95	47,4 3,28
Ba	0,60 0,55	0,50 0,66	0,50 0,59
Sr	– 2,90	– 1,83	– 3,80
Sn	76,0 0,52	100 1,02	70,0 0,52
Be	40,0 0,50	25,0 0,79	80,0 0,50
Zr	0,55 1,02	0,80 1,35	0,40 1,10
Ga	– 0,35	– 0,66	– 0,38
Y	– 1,09	– 1,84	– 1,48

Примечание: В числителе даются результаты по надземной массе, в знаменателе – по корневой системе.

Таким образом, проведенный анализ показал, что почвогрунты Коркинского угольного разреза характеризуются своеобразным химическим составом. Среднее содержание большинства микроэлементов в почвогрунтах угольного разреза отличается от среднего содержания в почве. Наибольшее различие по содержанию элементов Pb, Co, Mn, Cu, которые в значительной степени превышают их среднее содержание в почвах. Содержание всех элементов сильно варьирует, что определяется пестротой породного состава верхнего слоя. Микроэлементный состав надземной биомассы и корней растений резко отличается от этих показателей на зональной почве. Проведенная работа по анализу содержания микроэлементов в субстрате и растениях показала, что Ni, Mn, Ag, Mo, Sr, Zr являются элементами биологического накопления. Предварительный анализ химического состава растений позволяет утверждать, что они содержат повышенные концентрации Ni, Cu, Zn, Co, Pb и при попадании в пищевую цепь могут оказывать токсичное воздействие. Полученные результаты анализа еще раз подтверждают необходимость учета содержания тяжелых металлов в субстрате и растениях при проведении работ по рекультивации таких объектов, как глубокие угольные разрезы.

Лекция 6

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НАРУШЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ ЗЕМЕЛЬ

Характеристика экотопа. Исследование фитоценозов, возникших при самозарастании и биологической рекультивации: динамика, структура, продуктивность, видовой состав, ценопопуляционная структура видов, микотрофность, концентрация микроэлементов. Определение понятия экологического мониторинга. Задача экологического мониторинга и его виды по специфике мето-

дов наблюдения и оценке информации. Особенности мониторинга нарушенных промышленностью земель. Мониторинг биоразнообразия и биотестирование. Восстановление фиторазнообразия на золоотвалах в таежной и лесостепной зонах и отвале угледобывающей промышленности. Мониторинг формирования фитоценозов.

Биологическая рекультивация нарушенных земель – комплексная проблема и требует участия в исследованиях разных специалистов.

Характеристика экотопа предполагает изучение рельефа, гидрологического режима, породного состава отвалов горнодобывающей или характеристики субстрата отвалов перерабатывающей промышленности. Как правило эти сведения могут быть получены при изучении ведомственных материалов. Особое внимание уделяется изучению физических и химических свойств пород (субстрата) отвалов.

Важным разделом является исследование процессов естественного формирования почвенного и растительного покровов. Наиболее подробно исследуются фитоценозы как возникшие в процессе самозарастания, так и созданные при биологической рекультивации: изучается динамика и структура, продуктивность, флористический состав.

Фитоценоз рассматривается нами как интегральный показатель пригодности нарушенных промышленностью земель для биологической рекультивации, а при естественном восстановлении почвенного и растительного покровов (процесс самозарастания) – как наиболее доступный для изучения и информативный компонент биогеоценозов для оценки степени их сформированности, экологической и хозяйственной ценности, прогноз их развития и др. Поэтому кроме общей характеристики фитоценозов, выявления их видового состава и определения продуктивности подробно анализируется ценопопуляционная структура доминирующих, редких для региона и перспективных для биологической рекультивации видов, дается биоэкологическая характеристика видов

(по литературным данным и личным наблюдениям) и определяется концентрация микроэлементов (химический состав растений) (Чибрик, Елькин, 1991).

«Под экологическим мониторингом понимают разнообразные системы наблюдений за изменениями состояния окружающей среды в пространстве и во времени, вызванные антропогенными причинами, и позволяющие оценивать и прогнозировать развитие этих изменений» (Трифонова, Селиванова, Мищенко, 2005).

В задачи экологического мониторинга входит:

– наблюдение за источниками антропогенного воздействия;

– наблюдение за факторами антропогенного воздействия;

– наблюдение за изменениями, происходящими в окружающей среде под влиянием антропогенного воздействия;

– наблюдение за состоянием здоровья населения, проживающего в зонах влияния техногенных факторов;

– анализ данных, оценка и прогноз изменений состояния природной среды в целом и отдельных ее компонентов под влиянием воздействующих факторов;

– разработка системы управления и оптимизации антропогенного воздействия на окружающую среду.

По масштабу наблюдений и характеру обобщения информации различают:

– *глобальный (биосферный) мониторинг*, осуществляемый на основе международного сотрудничества, которое в последние годы становится все более интенсивным;

– *национальный мониторинг*, осуществляемый в пределах государства специально созданными органами;

– *региональный мониторинг*, осуществляемый в пределах интенсивно осваиваемых крупных районов, например, в пределах территориально-производственных комплексов;

– *локальный (биоэкологический) мониторинг*, включающий слежение за изменениями качества среды в пределах населенных пунктов, промышленных центров, непосредственно на предприятиях;
– *импактный мониторинг*, осуществляемый в особо опасных зонах и местах (Трифонова, Селиванова, Мищенко, 2005).

Для систем мониторинга, используемых для наблюдений за переносом загрязнений в интересах нескольких регионов или стран, применяется термин *трансграничный мониторинг*.

По специфике методов измерения и оценке информации выделяют мониторинг биологический, геохимический, геофизический и др. По специфике объектов наблюдения и защиты выделяют мониторинг атмосферы, почв, поверхностных вод (гидрологический), подземных вод (гидрогеологический), растительных ресурсов (геоботанический), лесов, животного мира, антропогенной, транспортной, рекреационной нагрузки, медико-демографический и др. (Трифонова, Селиванова, Мищенко, 2005).

Системы мониторинга могут классифицироваться по методам наблюдения (например, по физико-химическим, биологическим, геохимическим, авиационным, аэрокосмическим и т. п.).

«Хотя информация о состоянии окружающей среды используется человеком достаточно давно, однако только в последнее время она стала столь значимой, что появился новый термин «мониторинг». По мнению Ю. А. Израэля (1984), мониторингом следует называть систему наблюдений, позволяющую выделить изменения состояния биосферы под влиянием человеческой деятельности и <u>включающую в себя наблюдение, оценку и прогноз состояния природной среды</u>. Мониторинг является необходимым условием организации управления ее качеством. Существуют разные уровни и виды мониторинга. Кроме того, организация системы мониторинга предполагает получение информации об исходном состоянии среды до наступления антропогенных изменений. Поскольку живые организмы наиболее комплексно отражают влияние неблагоприятных факторов на экосистемы, базовая информация поступает при биоло-

гическом мониторинге. Являясь частью экологического мониторинга, биологический мониторинг представляет собой систему слежения за ответной реакцией биоты, по существу, это мониторинг биоразнообразия и биоиндикация. Таким образом, хотя экологический мониторинг как процедура отслеживания понимается ныне очень широко, однако в первую очередь это биологические методы контроля состояния окружающей природной среды» (Большаков, 2005).

Мониторинг нарушенных промышленностью земель имеет свои особенности, которые определяются своеобразием объектов:

– он проводится на территории, которая испытала катастрофическое антропогенное (техногенное) воздействие – уничтожены почвенный и растительный покровы;

– иные задачи мониторинга – надо проследить формирование биоты с нулевого старт–момента (оживление абиотических мертвых пространств), но сохраняется общий алгоритм мониторинга – наблюдение, анализ и прогноз.

На нарушенных промышленностью землях, чаще всего, осуществляется локальный (биоэкологический) и импактный мониторинг, а именно мониторинг биоразнообразия, в частности фиторазнообразия, биотестирования и начальных этапов почвообразования, т. е. восстановление почвенного покрова в пространстве и времени.

Цель мониторинга биоразнообразия (фиторазнообразия) – слежение за состоянием биоты в пределах различных по масштабу природно-территориальных комплексов в нашем случае техногенных объектов, отвалов. Этот процесс включает сбор данных, их анализ, хранение, обработку с целью прогнозирования развития и научно-обоснованного управления формирующимися экосистемами. Последние начинают формироваться с нулевого старт-момента, так как на большинстве нарушенных промышленностью земель полностью уничтожаются почвенный и растительный покровы. Формирование автотрофного блока экосистем идет по типу первичной сукцессии при отсутствии в поверхностных слоях диаспор (Шенников, 1964). Поэтому в данном случае возможно в качестве синонима формирования фиторазнообразия использовать

термин восстановление фиторазнообразия (не путать с восстановительной сукцессией).

Обычно при исследованиях все разнообразие видов разбивают на 3 группы: фоновые виды; индикаторные виды; редкие виды (особоохраняемые).

Биомониторинг включает в себя процесс инвентаризации (эти сведения составляют базу данных), но его особенность состоит в том, что здесь оцениваются изменения, происходящие в определенном точно установленном по маркшейдерским данным интервале времени.

Биотестирование – один из приемов исследования в области биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель для определения степени пригодности их для биологической рекультивации с использованием формирующихся на них фитоценозов в качестве тест-объекта. Биотестирование не отменяет систему аналитических и аппаратурных методов контроля на промышленных отвалах, а лишь дополняет ее качественно новыми биологическими показателями, так как с экологической точки зрения сами по себе результаты физико-химических характеристик свойств пород и субстратов отвалов имеют относительную ценность. Важно знать вызываемые этими свойствами биологические эффекты.

Ниже приводятся примеры применения методов экологического мониторинга при исследованиях по биологической рекультивации.

Результаты применения методов экологического мониторинга при исследовании восстановления фиторазнообразия на конкретных техногенных объектах

Восстановление фиторазнообразия на золоотвалах тепловых электростанций в таежной зоне, подзона южной тайги. На золоотвале ВТГРЭС к 1976 г. (через 8 лет после окончания эксплуатации) фиторазнообразие возросло до 65 видов высших сосудистых растений вместо 2 – в 1968 г. В биоэкологической структуре парциальной флоры золоотвала (Юрцев, Семкин, 1980) преобладающими группами были многолетники (64,6 %) мезофиты (69,2 %), анемо-

хоры (47,6 %), сорно-рудеральные (32,4 %) и луговые (27,6 %) (табл. 34). Преобладающими жизненными формами по Раункиеру были гемикриптофиты (63,1 %) и терофиты (21,5 %), которые составили 84,6 % от общего числа видов. Флора отвала сформировалась за счет бореальных (64,6 %) и полизональных (26,2 %) видов, в долготной группе преобладающими были евразиатские (41,5 %) и циркумполярные (32,3 %) виды. Анализ структуры биоморф показал, что малолетние травы составляют 29,2 % всех видов, многолетние травы – 64,6 %, кустарники и кустарнички – 4,6 %.

В последующие годы шло постоянное увеличение фиторазнообразия флоры золоотвала, которое за 24 года (1976–2000) возросло в 2,6 раза (до 170 видов). Анализ видового состава по отношению к влаге показал, что наблюдается численное увеличение практически всех выделенных групп видов, но процентная структура флоры остается близкой к исходной: преобладают мезофиты (65,5–65,9 %), четко выделяются почти равновесные группы более ксерофитных (16,4–18,3 %) и видов влажных местообитаний (10,8–15,8 %). С учетом продолжительности жизни фиторазнообразие флоры золоотвала обогащается за счет многолетников, число которых за 24 года возросло в 3,2 раза, а доля увеличилась с 64,6 до 79,4 %. Важную роль при внедрении видов в растительные сообщества играет способ распространения плодов и семян. Первоначально золоотвал представляет собой открытое пространство, где в численном и процентном отношении преобладают анемохоры (31 вид – 47,6 %). В последующие годы, по мере увеличения фиторазнообразия, происходило обогащение видами всех групп растений, но наиболее интенсивно группы зоохоров (число видов этой группы в 2000 г. по сравнению с 1976 г. возросло в 3,5 раза, возросла их доля с 15,4 до 20,6 %). Несмотря на то, что золоотвал находится в таежной зоне, флора его через 8 лет после окончания эксплуатации была представлена сорно-рудеральной (32,4 %), лугово-сорной (15,4 %) и луговой (27,6 %) группами. Лесные виды составили лишь 6,2 % (4 вида), а к 2000 г. число их возросло до 36, а доля – до 21,2 %. Вместе с лугово-лесными (опушечными) видами они составили преобладающую группу (56 видов – 33 %), на втором месте группа лу-

говых видов (46–27,1 %). Суммарно группа сорно-рудеральных и лугово-сорных видов ослабила свои позиции, составив лишь 26,4 % от общего числа видов. За 24 года во флоре золоотвала существенно обогатился спектр жизненных форм (по Раункиеру): наблюдался абсолютный и относительный рост гемикриптофитов и фанерофитов (табл. 34). Анализ структуры биоморф также показывает увеличение древесных видов (от 3 видов в 1976 г. до 26 – в 2000 г.), значительное увеличение многолетних травянистых видов (от 42 – в 1976 г. до 113 – в 2000 г.), среди которых возросла доля короткокорневищных и дерновинных многолетних трав.

При анализе динамики парциальной флоры по географичеким элементам прослеживается по широтным группам тенденция абсолютного и относительного усиления бореальной группы (121 вид – 71,2 % вместо 42 видов – 64,6 %), а из долготных – евразиатской.

На фоне проявления общих закономерностей динамики фиторазнообразия и структуры флоры золоотвала несколько выходят из этих границ результаты 1994 г. С этим периодом связано проведение «вторичной» рекультивации на значительной площади (около 40 га), проявившейся в уничтожении лесных фитоценозов (раскорчевке), возникших в процессе самозарастания на полосах грунта и золы, легком разравнивании, нанесении дополнительного покрытия и посеве смеси многолетних трав с преобладанием костреца безостого. За 5 лет (1989–1994) наблюдалось резкое возрастание числа видов со 117 до 177 за счет внедрения на нарушенную территорию преимущественно малолетников сорно-рудеральной и лугово-сорной групп, что привело к некоторому изменению структуры флоры золоотвала.

Восстановление фиторазнообразия на золоотвалах тепловых электростанций в лесостепной зоне.

Для золоотвалов Южноуральской ГРЭС характерны более жесткие экологические условия, связанные с недостатком влаги и повышенной инсоляцией открытых пространств золоотвалов. Динамика фиторазнообразия и биоэкологической структуры на этих золоотвалах прослежена в течение 19 лет на примере

парциальных флор двух одновозрастных золоотвалов (табл. 35): «старого» рекультивированного с покрытием почвой и посевом многолетних трав и золоотвала «под дамбой», где флора формировалась на золе без покрытия. В первом случае формирование флоры шло в результате трансформации 14-летних культурфитоценозов, уход за которыми к 1980 г. в течение последних 10 лет не проводился, во втором случае – в процессе самозарастания. На обоих золоотвалах за 19 лет снизилось видовое разнообразие флор с 87 до 50 и с 60 до 37 соответственно на золе с покрытием и на «чистой» золе, хотя причины, на наш взгляд, различны: на рекультивированном золоотвале в результате деградации фитоценозов, на «чистой» золе – жесткого экотопического отбора и разрастания корневищных злаков, таких как вейник наземный, мятлик луговой и пырей ползучий.

Четкой направленности в динамике фиторазнообразия и биоэкологической структуры парциальных флор не прослеживается. Полученные результаты позволяют дать лишь общую характеристику флор золоотвалов. Так, во все годы наблюдений как на «чистой» золе, так и на золе с почвенным покрытием преобладают количественно и в процентном отношении многолетники. На «чистой» золе при снижении их числа с 32–35 до 23 доля их закономерно возрастает с 53,4 до 62,2 %. По способу диссеминации из всех групп численно и в процентном отношении первенствуют анемохоры, на «чистой» золе проявляется тенденция некоторого роста доли зоохоров. Анализ структуры флор по жизненным формам показывает на общем фоне снижения фиторазнообразия преобладание гемикриптофитов (в разные годы от 54,1 до 66,1 %). После некоторого уменьшения числа и доли терофитов к 1989 г. повышение этих показателей к 1999 г., вероятно, свидетельствует о деградации сформировавшихся к 1989 г. растительных сообществ. При общем уменьшении количества видов структура экоморф на «старом» золоотвале с увеличением возраста меняется незначительно (табл. 35). На «чистой» золе происходит увеличение доли стержнекорневых многолетних трав за счет уменьшения доли длиннокорневищных травянистых многолетников. Так же, как и во флоре золоотвала

ВТГРЭС, преобладают стержнекорневые (26,0–24,4 %) и короткокорневищные виды (24,0–24,4 %), а доля малолетних трав составляет 38,0–32,4 %.

Среди ценотических групп преобладает группа сорно-рудеральных видов, которая вместе с лугово-сорными видами составляет на золе с покрытием и на «чистой» золе соответственно 47,1 и 48,4 % в 1980 г., 51,6 и 50,9 % в 1989 г., 48,0 и 43,1 % в 1999 г. Число (от 6 до 14) и доля (16,1–22,0 %) луговых видов незначительны. Несколько выше в разные годы значимость степных (от 7 до 18 и от 12,3 до 20,7 %) и лесостепных видов.

Анализ динамики экоморф дает представление о ксерофитизации флор золоотвалов Южноуральской ГРЭС. Так, на «старом» золоотвале на золе с почвенным покрытием численность мезофитов за 19 лет снизилась с 34 до 21 вида, но в связи с существенным (в 1,6 раза) уменьшением общего числа видов доля их несколько возросла (на 2,9 %). На «чистой» золе число мезофитных видов и их доля существенно снизилась (соответственно с 28 до 11 и с 46,7 до 29,8 %). Одновременно прослеживается некоторая тенденция снижения суммарной доли более ксерофитных групп (ксеромезофиты + мезоксерофиты + ксерофиты) на золе с почвенным покрытием (59,7→61,3→58,0 %, соответственно, в 1980→1989→1999 гг.), что вызвано общим снижением числа видов, и четкое увеличение этой доли на «чистой» золе (с 51,6 % в 1980 г. до 70,2 % в 1999 г.). Таким образом, можно предполагать, что процесс ксерофитизации флоры на золоотвале без почвенного покрытия идет интенсивнее.

С учетом географического элемента (по происхождению) из широтных групп несколько преобладает полизональная и достаточно сходно представлены бореальная и лесостепная, степные виды немногочисленны и составляют в разные годы (см. табл. 35) от 8 до 17,7 %, из долготных групп преобладает евразиатская, хотя число и доля видов этой группы значительно ниже, чем во флоре золоотвала ВТГРЭС, значительно участие видов плюрирегиональной и европейской групп.

Таблица 34

Динамика фиторазнообразия и биоэкологическая структура парциальной флоры золоотвала Верхнетагильской ГРЭС (по Чибрик, Лукина, Глазырина, 2004)

Группы видов	1976		1980		1989		1994		2000	
	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%
Экоморфы										
Ксерофиты	1	1,5	1	0,9	1	0,9	1	0,6	1	0,6
Мезоксерофиты	5	7,7	7	6,2	9	7,7	11	6,2	12	7,1
Ксеромезофиты	5	7,7	12	10,6	15	12,8	17	9,6	18	10,6
Галомезофиты	2	3,1	–	–	–	–	–	–	–	–
Мезофиты	45	69,2	75	66,3	77	65,8	116	65,5	112	65,9
Гигромезофиты	4	6,2	8	7,1	8	6,8	12	6,8	7	4,1
Мезогигрофиты	3	4,6	7	6,2	4	3,4	15	8,5	14	8,2
Гигрофиты	–	–	3	2,7	3	2,6	5	2,8	6	3,5
Продолжительность жизни										
Однолетние	8	12,3	16	14,2	6	5,1	16	9,0	9	5,3
Одно- и двулетние	8	12,3	10	8,8	7	6,0	13	7,3	12	7,1
Двулетние	5	7,7	7	6,2	8	6,8	11	6,2	8	4,7
Дву- и многолетние	2	3,1	4	3,5	2	1,7	7	4,0	6	3,5
Многолетние	42	64,6	76	67,3	94	80,3	130	73,5	135	79,4
Способ распространения плодов и семян										
Анемохор	31	47,6	53	46,9	56	47,8	72	40,7	76	44,7
Автохор	17	26,2	25	22,1	24	20,5	43	24,3	39	22,9
Зоохор	10	15,4	22	19,5	22	18,8	39	22,0	35	20,6
Баллист	7	10,8	10	8,8	12	10,3	20	11,3	18	10,6
Агестохор	–	–	3	2,7	3	2,6	3	1,7	2	1,2

Продолжение табл. 34

Группы видов	1976		1980		1989		1994		2000	
	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%
Ценотические группы										
Сорно-рудеральные	21	32,4	36	31,8	26	22,3	39	22,0	27	15,8
Лугово-сорные	10	15,4	14	12,4	13	11,1	17	9,6	18	10,6
Луговые	18	27,6	28	24,8	35	29,9	38	21,5	46	27,1
Лугово-лесные	8	12,3	12	10,6	13	11,1	18	10,2	20	11,8
Лесные	4	6,2	14	12,4	15	12,8	39	22,0	36	21,2
Переувлажненных местообитаний	1	1,5	6	5,3	6	5,1	13	7,3	10	5,9
Лугово-степные	3	4,6	2	1,8	6	5,1	9	5,1	8	4,7
Степные	–	–	1	0,9	2	1,7	3	1,7	3	1,7
Культурные	–	–	–	–	1	0,9	1	0,6	2	1,2
Жизненные формы по Раункиеру										
Фанерофиты	2	3,1	12	10,6	15	12,8	25	14,1	24	14,1
Хамефиты	–	–	–	–	1	0,9	2	1,2	2	1,2
Гемикриптофиты	41	63,1	62	54,8	71	60,7	89	50,3	97	57,1
Геофиты	8	12,3	12	10,6	15	12,8	29	16,4	24	14,1
Терофиты	14	21,5	27	24,0	15	12,8	32	18,0	23	13,5
Широтная группа										
Полизональные	17	26,2	32	28,3	22	18,8	34	19,2	25	14,7
Бореальные	42	64,6	67	59,3	77	65,8	121	68,4	121	71,2
Лесостепные	5	7,7	11	9,7	14	12,0	16	9,0	18	10,6
Степные	1	1,5	3	2,7	4	3,4	4	2,3	5	2,9
Неморальные	–	–	–	–	–	–	2	1,1	1	0,6

окончание таблицы 34

Группы видов	1976		1980		1989		1994		2000	
	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%
Долготная группа										
Циркумполярные (голарктические)	21	32,3	26	23,0	26	22,2	40	22,6	35	20,6
Евразиатские	27	41,5	59	52,2	58	49,6	83	46,9	84	49,4
Евросибирские	2	3,1	10	8,8	10	8,5	16	9,1	16	9,4
Азиатские	1	1,5	2	1,8	1	0,9	2	1,2	2	1,2
Сибирские	–	–	–	–	1	0,9	4	2,2	3	1,8
Плюрирегиональные (космополиты)	7	10,8	7	6,2	6	5,1	7	3,9	6	3,5
Европейские	7	10,8	9	8,0	15	12,8	25	14,1	24	14,1
Биоморфы										
Малолетние травы	19	29,2	33	29,2	22	18,7	40	22,6	29	17,1
Многолетние травы:										
стержнекорневые	10	15,4	12	10,6	13	11,5	22	12,5	22	12,9
кистекорневые	–	–	4	3,5	5	4,3	7	3,9	7	4,1
короткокорневищные	12	18,4	31	27,4	36	30,7	46	27,0	46	27,0
длиннокорневищные	14	21,6	11	9,7	15	12,7	17	9,9	17	10,1
дерновинные	5	7,7	5	4,4	6	5,1	6	3,4	14	8,2
клубнеобразующие	–	–	1	0,9	–	–	5	2,8	4	2,4
наземно-ползучие	1	1,5	2	1,8	3	2,6	2	1,2	3	1,8
Древесные:										
деревья	–	–	6	5,4	7	5,9	9	5,1	10	5,9
кустарники	2	3,1	6	5,4	9	7,6	16	9,0	14	8,1
кустарнички	1	1,5	2	1,7	1	0,9	3	1,7	2	1,2
полукустарнички	–	–	–	–	–	–	3	1,7	2	1,2
Общее количество видов	65		113		117		177		170	

Таблица 35

Динамика фиторазнообразия и биоэкологическая структура парциальных флор золоотвалов Южноуральской ГРЭС (по Чибрик, Лукина, Глазырина, 2004)

Группы видов	1980				1989				1999			
	Золоотвалы				Золоотвалы				Золоотвалы			
	«старый»		«под дамбой»		«старый»		«под дамбой»		«старый»		«под дамбой»	
	I*	II**	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Экоморфы												
Ксерофиты	8	9,2	5	8,3	4	6,5	4	7,0	4	8,0	3	8,1
Мезоксерофиты	19	21,8	9	15,0	11	17,7	8	14,0	9	18,0	5	13,5
Ксеромезофиты	25	28,7	17	28,3	23	37,1	20	35,1	16	32,0	18	48,6
Мезофиты	34	39,1	28	46,7	24	38,7	23	40,4	21	42,0	11	29,8
Гигромезофиты	1	1,2	1	1,7	–	–	2	3,5	–	–	–	–
Продолжительность жизни												
Однолетние	13	14,9	10	16,6	5	8,1	4	7,0	6	12,0	2	5,4
Одно- и двулетние	11	12,6	7	11,7	11	17,7	9	15,8	6	12,0	7	18,9
Двулетние	9	10,4	7	11,7	7	11,3	7	12,3	7	14,0	3	8,1
Дву- и многолетние	5	5,7	4	6,6	2	3,2	2	3,5	2	4,0	2	5,4
Многолетние	49	56,4	32	53,4	37	59,7	35	61,4	29	58,0	23	62,2
Способ распространения плодов и семян												
Анемохор	42	48,3	30	50,0	30	48,4	31	54,5	17	34	16	43,2
Автохор	18	20,7	11	18,3	12	19,4	9	15,8	10	20	6	16,2
Зоохор	13	14,9	12	20,0	10	16,1	11	19,3	13	26	10	27,0
Баллист	11	12,6	5	8,3	9	14,5	6	10,4	7	14	4	10,8
Антропохор	1	1,2	1	1,7	–	–	–	–	2	4	1	2,8
Агестохор	2	2,3	1	1,7	1	1,6	–	–	1	2	–	–
Ценотические группы												
Сорно-рудеральные	30	34,5	22	36,7	23	37,1	20	35,1	18	36,0	13	35,0
Лугово-сорные	11	12,6	7	11,7	9	14,5	9	15,8	6	12,0	3	8,1
Луговые	14	16,1	12	20,0	11	17,8	10	17,5	11	22,0	6	16,3

Продолжение табл. 35

Группы видов	1980				1989				1999			
	Золоотвалы				Золоотвалы				Золоотвалы			
	«старый»		«под дамбой»		«старый»		«под дамбой»		«старый»		«под дамбой»	
	I*	II**	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Лугово-лесные	1	1,2	1	1,7	1	1,6	3	5,3	1	2,0	1	2,7
Переувлажненных местообитаний	–	–	1	1,7	–	–	1	1,8	–	–	–	–
Лугово-степные	13	14,9	6	10,0	7	11,3	6	10,5	5	10,0	6	16,3
Степные	18	20,7	11	18,2	10	16,1	7	12,3	8	16,0	7	18,9
Культурные	–	–	–	–	1	1,6	1	1,7	1	2,0	1	2,7
Жизненные формы по Раункиеру												
Гемикриптофиты	56	64,4	38	63,4	41	66,1	36	63,2	29	58,0	20	54,1
Геофиты	8	9,2	4	6,6	6	9,7	9	15,7	4	8,0	4	10,8
Терофиты	20	23,0	15	25,0	12	19,4	8	14,0	14	28,0	9	24,3
Хамефиты	3	3,4	3	5,0	2	3,2	3	5,3	2	4,0	3	8,1
Фанерофиты	–	–	–	–	1	1,6	1	1,8	1	2,0	1	2,7
Широтная группа												
Полизональные	31	35,6	27	45,0	22	35,5	19	33,4	18	36,0	11	29,7
Бореальные	21	24,1	14	23,3	17	27,5	21	36,8	12	24,0	11	29,7
Лесостепные	20	23,0	13	21,7	11	17,7	10	17,5	15	30,0	10	27,1
Степные	14	16,1	5	8,3	11	17,7	6	10,5	4	8,0	5	13,5
Неморальные	1	1,2	1	1,7	1	1,6	1	1,8	1	2,0	–	–
Долготная группа												
Циркумполярные (голарктические)	10	11,5	10	16,7	6	9,7	9	15,8	5	10,0	5	13,5
Евразиатские	41	47,1	29	48,3	31	50,0	25	43,6	25	50,0	19	51,4
Евросибирские	3	3,5	2	3,3	3	4,8	2	3,6	–	–	1	2,7
Азиатские	5	5,7	2	3,3	1	1,6	2	3,6	2	4,0	2	5,4
Сибирские	1	1,2	–	–	2	3,2	–	–	1	2	–	–
Плюрирегиональные (космополиты)	13	14,9	9	15,0	10	16,1	8	14,1	7	14,0	4	10,8

окончание таблицы 35

Группы видов	1980				1989				1999			
	Золоотвалы				Золоотвалы				Золоотвалы			
	«старый»		«под дамбой»		«старый»		«под дамбой»		«старый»		«од дамбой»	
	I*	II**	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Европейские	14	16,1	8	13,4	9	14,6	11	19,3	10	20,0	6	16,2
Биоморфы												
Малолетние травы	33	37,9	24	40,0	22	35,5	20	35,1	19	38,0	12	32,4
Многолетние травы:												
стержнекорневые	22	25,3	10	16,7	17	27,4	11	19,3	13	26,0	9	24,4
короткокорневищные	20	22,9	15	25,0	12	19,4	13	22,8	12	24,0	9	24,4
длиннокорневищные	8	9,2	8	13,3	7	11,3	8	14,0	3	6,0	4	10,7
дерновинные	3	3,3	3	5,0	3	4,8	3	5,2	1	2,0	1	2,7
наземно-ползучие	1	1,2	–	–	–	–	–	–	1	2,0	–	–
Древесные												
кустарники	–	–	–	–	1	1,6	1	1,8	1	2,0	1	2,7
полукустарнички							1	1,8			1	2,7
Общее количество видов	87		60		62		57		50		37	

Примечание: * – число видов; ** – % от общего числа видов.

Таким образом, в формировании парциальных флор золоотвалов проявляется зональность. На золоотвале Верхнетагильской ГРЭС в условиях достаточного увлажнения фиторазнообразие флоры значительно выше и его нарастание продолжается. Незначительное уменьшение на 7 видов с 1994 по 2000 гг., на наш взгляд, носит случайный характер. На золоотвале Южноуральской ГРЭС к настоящему времени наблюдается деградация сформировавшихся фитоценозов на рекультивированном золоотвале вследствие интенсивной рекреации и выпаса домашних животных и обеднение парциальных флор. В целом на золоотвале Верхнетагильской ГРЭС (подзона южной тайги) за 25 лет прослеживается процесс сильватизации, а на золоотвалах Южноуральской ГРЭС – ксерофитизации флор (более интенсивный на «чистой» золе).

Восстановление фиторазнообразия на Южном Веселовском отвале (таежная зона, подзона средней тайги).

Мониторинговые исследования по формированию фитоценозов и восстановлению фиторазнообразия на нарушенных землях при открытой добыче угля на Урале проводятся свыше 40 лет. Структурное (табл. 36) и таксономическое (табл. 37) фиторазнообразие рассматривается на примере Южно-Веселовского отвала, являющегося наиболее типичным для угольных месторождений таежной зоны, подзоны средней тайги. Формирование отвала осуществлено в 1958–1966 гг. Первые полевые исследования проведены в 1971 г., последние – в 2000 г., т. е. при возрасте отдельных участков соответственно 5–13 и 34–42 года. Прослежено формирование лесного фитоценоза с доминированием *Pinus sylvestris* L. В целом, при анализе видового состава подроста и всходов проявляется тенденция к будущей смене доминантов древесного яруса. Наиболее обильными и имеющими высокий процент встречаемости являются всходы *Picea obovata* Ledeb., *Pinus sibirica* Du Tour, *Abies sibirica* Ledeb., которые в будущем будут формировать темнохвойный, более типичный для изучаемого района лес.

При полевом обследовании флоры в 2000 г. на Южно-Веселовском отвале было описано 108 видов высших сосудистых растений: 13 видов деревьев, 7 –

кустарников, остальные – кустарнички и травянистые виды. Видовое богатство отвала, по сравнению с результатами 1971 г., пополнилось 31 видом, в том числе тремя видами деревьев: *Pinus sibirica*, *Alnus incana* Mill. и *Abies sibirica*, а также пятью видами кустарников: *Padus avium* Mill., *Sorbus sibirica* Hedl., *Juniperus communis* L., *Ledum palustre* L., *Lonicera xilosteum* L.

Таблица 36

Биоэкологическая структура флористического состава фитоценозов Южно-Веселовского отвала

Группа видов	1971		1981		2000	
	Число видов	%	Число видов	%	Число видов	%
Экоморфа (гидроморфа)						
Гигрофиты	3	3,9	2	2,3	3	2,7
Мезогигрофиты	5	6,5	7	8,0	10	9,3
Гигромезофиты	1	1,3	–	–	–	–
Мезофиты	56	72,7	64	72,7	82	76,1
Ксеромезофиты	10	13,0	11	12,5	7	6,5
Мезоксерофиты	2	2,6	4	4,5	6	5,4
Жизненная форма по Раункиеру						
Терофиты	7	9,0	6	6,8	9	7,4
Гемикриптофиты	38	49,4	44	50,0	42	38,9
Геофиты	23	29,9	29	33,0	36	34,3
Фанерофиты	9	11,7	9	10,2	21	19,4
Способы распространения плодов и семян						
Автохоры, барохоры	23	29,9	23	26,2	29	26,8
Баллисты	–	–	1	1,1	7	6,5
Зоохоры	11	14,3	20	22,7	31	28,7
Гемианемохоры	25	32,5	27	30,7	18	16,7
Анемохоры	10	13,0	14	15,9	15	13,9
Прочие	8	10,3	3	3,4	8	7,4
Ландшафтно-зональная принадлежность						
Влажные луга	6	7,8	1	1,1	9	8,3
Сорно-рудеральные	20	26,0	23	26,2	18	16,7
Лесные	23	29,9	20	22,7	50	46,3
Луговые	27	35,0	36	40,9	23	21,3
Лугово-степные	1	1,3	8	9,1	8	7,4
Всего	77	100	88	100	108	100

Видовой состав сообществ в подавляющем большинстве представлен многолетниками мезофитного типа, в жизненных формах по Раункиеру преобладают суммарно гемикриптофиты и геофиты преимущественно лесного типа со значительной долей луговых видов. За период наблюдений проявилась стой-

кая закономерность усиления видового разнообразия и обилия лесных видов, в первую очередь фанерофитов.

За 29 лет изменилась структура флоры отвала по способу распространения плодов и семян. Увеличение флоры отвала произошло за счет зоохоров, автохоров, барохоров и баллистов, т. е. видов, распространяющихся животными или без воздействия внешних факторов. Количество видов этих групп увеличилось за счет снижения числа и доли анемохоров и гемианемохоров.

В 1971 г. флора отвала была представлена 77 видами, принадлежащими 63 родам и 21 семейству (табл. 37). Видовой состав 13 ведущих семейств в 1971 г. составил 85,7 %, в 2000 г. – 73,1 %.

Таблица 37

Ведущие семейства флоры Южно-Веселовского отвала

№ п/п	Семейство	Число родов		Число видов		% от общего числа видов	
		1971	2000	1971	2000	1971	2000
1	*Poaceae* Barnhart	11	11	16	14	20,8	13,0
2	*Asteraceae* Dumort.	13	13	13	13	16,9	12,0
3	*Rosaceae* Juss.	5	8	6	10	7,8	9,3
4	*Fabaceae* Lindl.	4	4	8	9	10,4	8,3
5	*Caryophillaceae* Juss.	4	5	4	5	5,2	4,6
6	*Pinaceae* Lindl.	3	4	3	5	3,9	4,6
7	*Scrophulariaceae* Juss.	3	4	3	4	3,9	3,7
8	*Pyrolaceae* Dumort.	–	3	–	4	–	3,7
9	*Brassicaceae* Burnett	3	3	3	3	3,9	2,8
10	*Apiaceae* Lindl.	2	3	2	3	2,6	2,8
11	*Betulaceae* S. F.Gray.	1	2	2	3	2,6	2,8
12	*Polygonaceae* Juss.	2	2	4	3	5,2	2,8
13	*Salicaceae* Mirb.	2	2	2	3	2,6	2,8
Всего	13	53	64	66	79	85,7	73,1

К 2000 году существенно изменилась таксономическая структура флоры отвала. Число семейств увеличилось до 34, так как появились виды 12 новых семейств: *Ranunculaceae* Juss., *Cupressaceae* Bartl., *Urticaceae* Juss., *Grossulariaceae* DC., *Pyrolaceae* Dumort., *Ericaceae* Juss., *Polygalaceae* R. BR., *Rubiaceae* Juss., *Caprifoliaceae* Juss., *Lamiaceae* Lindl., *Orchidaceae* Juss., *Juncaceae* Juss. Число родов увеличилось с 63 до 89, число видов – с 77 до 108.

В семействе *Pinaceae* Lindl. появляется два новых вида – *Abies sibirica* и *Pinus sibirica* в виде всходов и молодого (до 1 м высотой) подроста.

Наибольшее число видов в семействах *Poaceae* (14 видов, составляющих 13 %), *Asteraceae* (13 видов – 12 %), *Rosaceae* (10 видов – 9,3 %) и *Fabaceae* (9 видов – 8,3 %). Семейства *Pinaceae* и *Caryophillaceae* представлены пятью видами, *Scrophulariaceae* и *Pyrolaceae* – четырьмя видами, остальные семейства – одним – тремя видами.

Показатели систематического разнообразия в 1971 и 2000 гг. соответственно следующие: видовая насыщенность рода 1,2 и 1,2, семейства – 3,7 и 3,3, родовая насыщенность семейства 3,0 и 2,7, что указывает на преобладание на данном этапе монотипных родов.

Таким образом, в течение 34–42 лет на отвале, сформировался биологически и хозяйственно ценный лесной фитоценоз. Интенсивность естественного зарастания при прочих равных условиях находится в прямой зависимости от возраста отвала и на первых стадиях формирования определяется условиями заноса семян и конкретными экологическими, в первую очередь – эдафическими, условиями. Первым стадиям формирования соответствуют обедненные в видовом отношении растительные сообщества, образовавшиеся в результате жесткого экотопического отбора. По мере формирования этими сообществами биотопа существенно обогащается видовой состав, преобладающими становятся зонально-климатические условия. Следовательно, конечным результатом процесса самозарастания являются фитоценозы близкие к зональным, формирование которых за счет жестких эдафических условий задерживается на первых этапах (вселение, экотопический отбор, сживание и др.). Анализ динамики фиторазнообразия указывает на формирование биоценоза близкого к полночленному, так как отмечены довольно богатый видовой состав (108 видов) высших сосудистых растений, 8 видов мхов, 9 – лишайников, 9 – съедобных грибов.

Мониторинг формирования фитоценозов на нарушенных промышленностью землях

На Урале имеются разновозрастные техногенные образования (от десятков до сотен лет) с восстановленными растительным и почвенным покровами как при естественном их восстановлении, так и при биологической рекультивации, проведенной по нашим рекомендациям свыше трех-четырех десятков лет назад. Результаты мониторинговых исследований проанализированы, что дает возможность дать прогноз формирования фитоценозов на разнотипных объектах.

Золоотвал Южноуральской ГРЭС. Анализ результатов мониторинга по формированию фитоценозов в лесостепной зоне приведен на примере золоотвалов Южноуральской ГРЭС – ЮУГРЭС (см. рис. 7).

При изучении формирования растительности на золоотвалах ЮГРЭС были выделены следующие экотопы: 1 – «чистая» зола с покрытием слоем черноземной почвы и посевом многолетних трав; 2 – «чистая» зола без покрытия (Лукина, 2002).

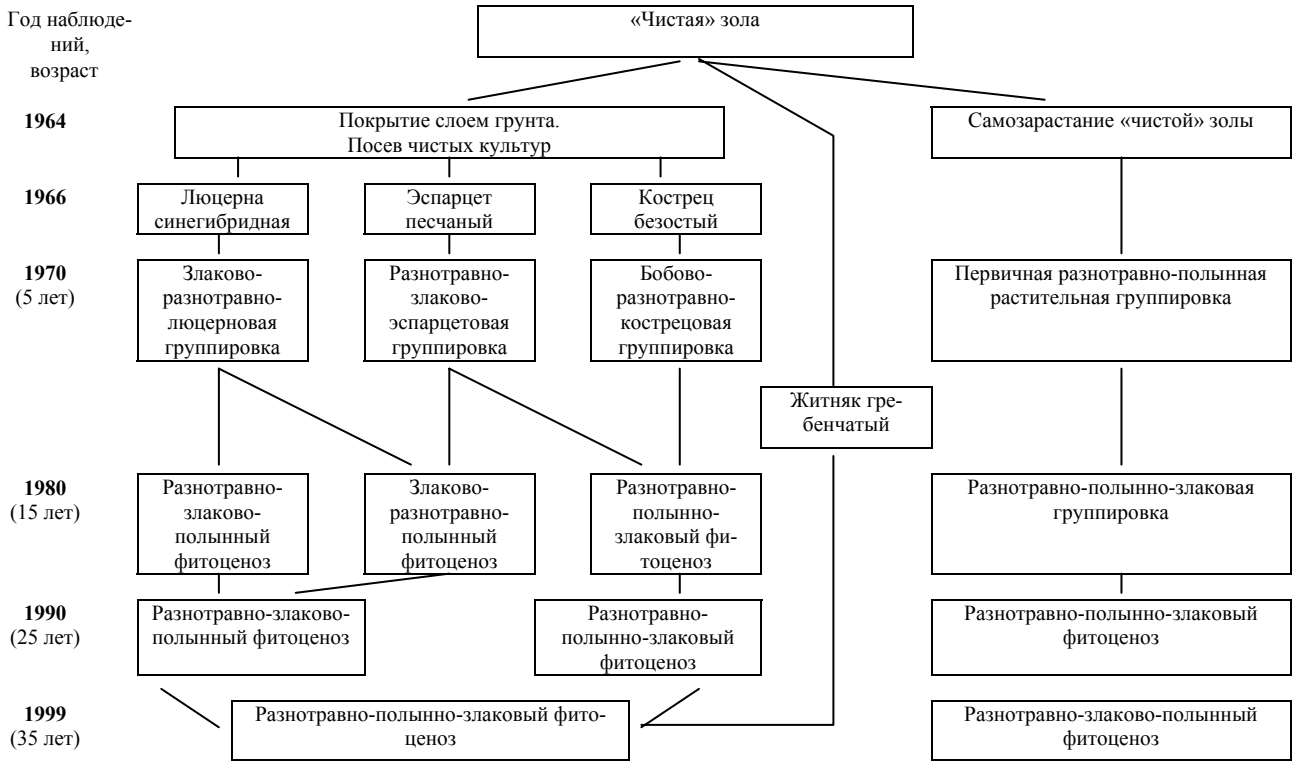

Рис. 7. Схема формирования фитоценозов на золоотвалах ЮГРЭС в зависимости от экотопа

Изучение трансформации растительности на золоотвалах Южноуральской ГРЭС, расположенных в лесостепной зоне, показало, что после проведения биологической рекультивации с нанесением почвы (10–20 см) сразу формируются продуктивные и хозяйственно ценные сообщества с преобладанием высеянных видов: *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC., *Medicago media* Pers., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub. Отсутствие ухода за посевами, а также их вытаптывание и стравливание скотом при выпасе ускорили распад и деградацию культурфитоценозов. В дальнейшем за 10–15 лет произошло постепенное вытеснение культурных видов (особенно бобовых) дикорастущими. Подсеяный позднее, через 10 лет после первого посева, *Agropyron cristatum* (L.) Beauv. успешно расселяется по золоотвалу, частично внедряясь в сообщества на «чистой» золе. Формирование растительных сообществ идет по пути сближения с луговыми степями.

Исследования, проведенные через 35 лет после биологической рекультивации, показали, что на рекультивированном золоотвале сформировался разнотравно-полынно-злаковый фитоценоз. Из злаков преобладают *Agropyron cristatum*, *Elytrigia repens* (L.) Nevski и *Bromopsis inermis*, местами сохранившийся за счет вегетативного размножения, из разнотравья: *Euphorbia virgata* Waldst.et Kit., *Artemisia dracunculus* L. Трансформация культурфитоценозов сопровождается их ксерофитизацией и идет по пути формирования травянистых сообществ, приближающихся к луговым степям с преобладанием *Agropyron cristatum* (на части золоотвала, не подверженной выпасу) и *Poa pratensis* L.

На участках самозарастания «чистой» золы формирование растительного покрова задерживается на 10–15 лет, идет медленно – от простых несомкнутых разнотравно-полынных растительных группировок, в состав которых входят наиболее устойчивые к произрастанию на зольном субстрате виды местной флоры (*Artemisia dracunculus*, *A. campestris* L., *Achillea nobilis* L., *Potentilla bifurca* L. и др.), среди которых много сорно-рудеральных (*Artemisia absinthium* L., *Berteroa incana* (L.) DC, *Erysimum cheirantoides* L.), к более сложным по видовому составу разнотравно-полынным фитоценозам.

Через 35 лет на «чистой» золе формируется разнотравно-полынно-злаковый фитоценоз с преобладанием *Festuca pseudovina* Hack. ex Wiesb., *Poa pratensis*, *Calamagrostis epigeios*, *Artemisia dracunculus*.

Сравнение одновозрастных исследованных растительных сообществ показало, что на золе сформировались обедненные по видовому составу, разреженные и менее ценные в хозяйственном отношении растительные сообщества, чем на золе с покрытием почвой.

Нарушенные земли открытых угольных разработок. Схема формирования растительных сообществ на нарушенных землях открытых угольных разработок Челябинского угольного бассейна (ЧУБ, лесостепная зона) разработана с учетом эдафических условий экотопа. Подробная характеристика пород и их классификация по степени пригодности для биологической рекультивации и, следовательно, для произрастания растений приведены ранее (см. раздел 2, Чибрик, 2003). Согласно ГОСТу 17.5.1.03-86 выделяются следующие группы пород: потенциально плодородные, малопригодные (не токсичные, но бедные элементами питания) и непригодные по химическим (сильное засоление и кислотность) и физическим свойствам (сильно каменистые). Флористический состав и динамика формирующихся сообществ в значительной степени определяются условиями местообитания и в первую очередь эдафическими.

Длительный мониторинг формирования растительности (более 50 лет) позволил составить обобщенную схему этого процесса (Глазырина, 2002) для нарушенных земель ЧУБ в зависимости от свойств субстрата (см. рис. 8), из которой следует, что фитоценозы в этих специфических условиях являются весьма динамичными биологическими системами. Лишь на наиболее благоприятном субстрате (малопригодные породы с примесью потенциально плодородных пород) можно отметить некоторую устойчивость фитоценозов с доминированием вейника наземного по флористическому составу и структуре в период с 20 до 50 лет. Параллельно на части этих территорий идет процесс формирования групп лесных фитоценозов аллейного и паркового типа, что ведет к нарушению

устойчивости травянистых фитоценозов. Под пологом леса идет сильная трансформация (сильватизация) травянистого яруса.

Фитоценозы техногенных ландшафтов, формирующихся в процессе самозарастания, – результат сложного взаимодействия зонально-климатических и конкретных экологических условий: чем они благоприятнее, тем ближе к зональному типу формирующиеся фитоценозы. Флористический состав формирующихся сообществ в значительной степени определяется условиями местообитания, в первую очередь эдафическими.

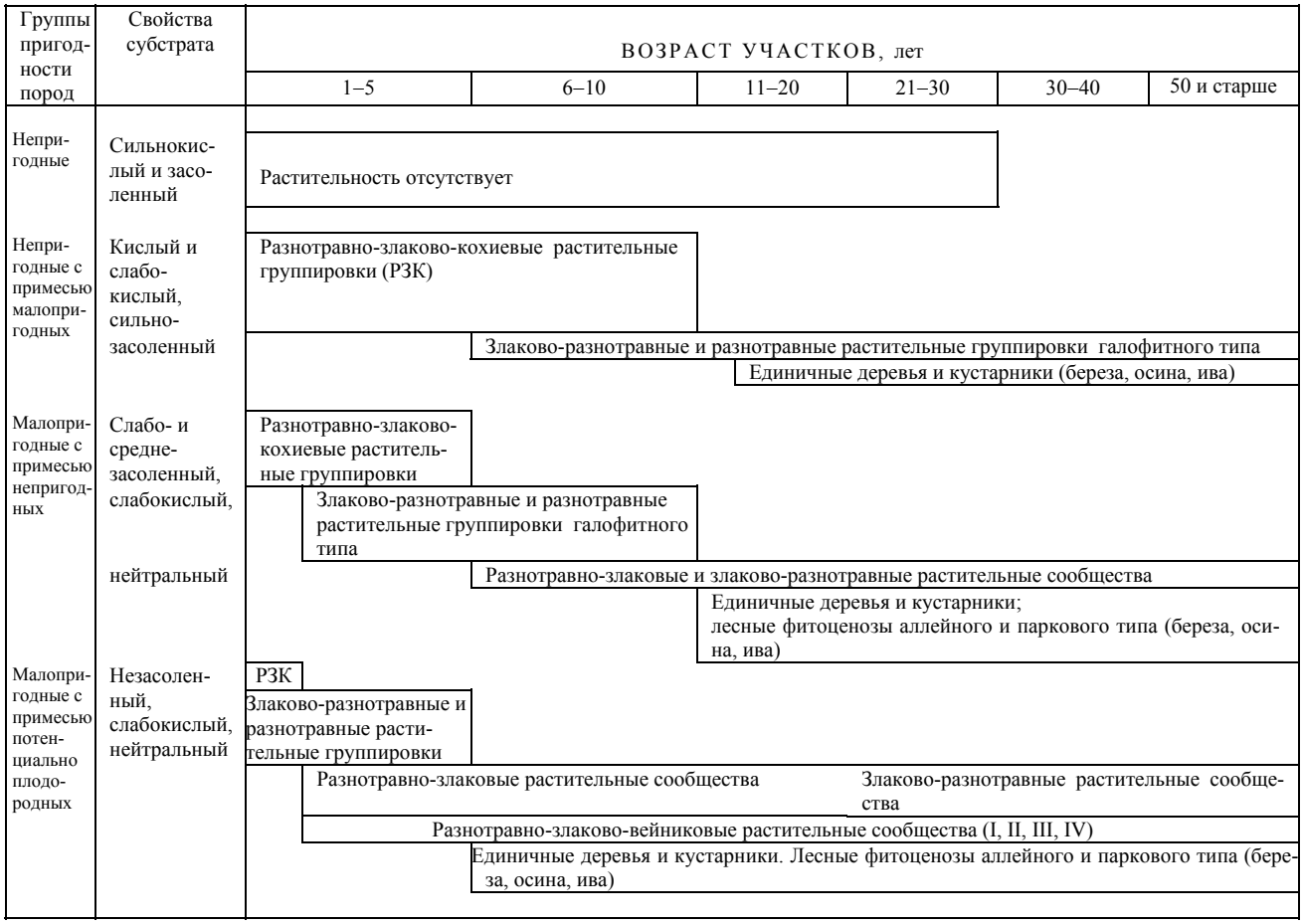

Рис. 8. Схема формирования растительности на нарушенных землях ЧУБ: I – разнотравно-вейниковые; II – разнотравно-овсяницево-вейниковые; III – разнотравно-мятликово-вейниковые; IV – разнотравно-критезоно-вейниковые

Естественно, формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью землях идет под прямым воздействием зонально-климатических условий, косвенно проявляются они через влияние зональной растительности как источ-

ника заноса диаспор. При формировании фитоценозов в техногенных ландшафтах наблюдается и некоторое своеобразие, связанное со спецификой конкретных экологических условий. Вероятно, здесь находят отражение отдельные элементы антропогенного изменения растительного покрова регионов (Горчаковский, 1979), но в условиях отвалов эти процессы ускоряются и обостряются.

На изученных отвалах следует отметить два момента. В начале 60-х гг. XX в. на территории г. Коркино наблюдались единичные растения и куртины *Hordeum jubatum* L. В последующие годы имело место интенсивное внедрение этого вида на нарушенные открытыми угольными разработками земли. В 1972 г. этот вид еще не играл заметной роли в растительных сообществах на отвалах и не отмечен в публикациях по данным того периода (Колесников, Махонина, Чибрик, 1976; Чибрик, Елькин, 1990). Через 17 лет на территории Коркинских отвалов в 12 из 33 описанных разновозрастных сообществ ячмень гривастый доминировал, отмечен же был в 23 описаниях. В описанных в 1972 г. сообществах на Коркинских отвалах отсутствовал *Acer negundo* L., который в 1989 г. получил довольно широкое распространение, отмечен практически во всех описаниях.

Следовательно, если принять эволюцию растительности в понимании Б. М. Миркина (1985), на изученных отвалах (да и на других) наблюдается проявление этого процесса. Создается впечатление, что ячмень гривастый, сильно размножившись вне конкуренции на свободных от растений территориях нарушенных земель, активно внедряется в естественные в разной степени деградированные сообщества.

Следовательно, анализ результатов мониторинговых исследований позволяет с большой долей вероятности утверждать, что при изучении формирования фитоценозов на нарушенных промышленностью землях наблюдаются признаки филоценогенеза (эволюции сообществ по Б. М. Миркину) и флорогенеза.

Вопросы для самоконтроля:

1. Технический и биологический этапы рекультивации.
2. Направления рекультивации по ГОСТ 17.5.1.01-83.
3. Техногенный ландшафт (по Б. П. Колесникову и Г. М. Пикаловой).
4. Биологическая рекультивация техногенных ландшафтов (по Л. В. Моториной и В. А. Овчинникову).
5. Промышленные отвалы и их неблагоприятные воздействия на окружающую среду.
6. Классификация промышленных отвалов по В. В. Тарчевскому.
7. Классификация отвалов по Б. П. Колесникову и Г. М. Пикаловой. Ее отличительные особенности.
8. Основные формы рельефа нарушенных открытыми горными разработками земель.
9. Главные изменения в ландшафтах, рельеф которых изменен открытыми горными разработками.
10. Состав и свойства вскрышных пород, слагающих отвалы при карьерном (открытом) способе добычи полезных ископаемых.
11. Свойства пород вскрыши, определяющие их непригодность для биологической рекультивации.
12. Принципы классификации пород отвалов для целей биологической рекультивации.
13. Биологическая рекультивация: определение термина.
14. Критерии выбора рациональных направлений рекультивации.
15. Биологическая рекультивация (фитомелиорация) нарушенных промышленностью земель – одна из проблем промышленной ботаники.
16. Характеристика ассортимента многолетних трав, рекомендованных для сельскохозяйственного направления биологической рекультивации.
17. Экологически устойчивые модели рекультивированных земель для степной зоны Украины на примере опыта Днепропетровского государственного аграрного университета (ДГАУ). Модель первая – основная, универсальная.

18. Экологически устойчивые модели рекультивированных земель для степной зоны Украины на примере опыта Днепропетровского государственного аграрного университета (ДГАУ). Модель вторая – повышенного плодородия.

19. Экологически устойчивые модели рекультивированных земель для степной зоны Украины на примере опыта Днепропетровского государственного аграрного университета (ДГАУ). Модель третья – гидромелиоративная.

20. Экологически устойчивые модели рекультивированных земель для степной зоны Украины на примере опыта Днепропетровского государственного аграрного университета (ДГАУ). Модель четвертая – геомелиоративная.

21. Экологически устойчивые модели рекультивированных земель для степной зоны Украины на примере опыта Днепропетровского государственного аграрного университета (ДГАУ). Модель пятая – локальная.

22. Экологически устойчивые модели рекультивированных земель для степной зоны Украины на примере опыта Днепропетровского государственного аграрного университета (ДГАУ). Модель шестая – специальная.

23. Лесная рекультивация: формирование поверхности для создания лесонасаждений на отвалах.

24. Лесная рекультивация: требования к составу вскрышных пород.

25. Лесная рекультивация: оценка пригодности нарушенных земель для лесной рекультивации.

26. Методы мелиорации грунтосмесей и интенсификации роста лесных культур на отвалах.

27. Ассортимент деревьев и кустарников для лесной рекультивации в зависимости от пригодности грунтосмесей для биологической рекультивации.

28. Ассортимент деревьев и кустарников для лесной рекультивации в таежной зоне (подзона северной тайги).

29. Ассортимент деревьев и кустарников для лесной рекультивации в таежной зоне (подзона средней тайги).

30. Ассортимент деревьев и кустарников для лесной рекультивации в таежной зоне (подзона южной тайги).

31. Ассортимент деревьев и кустарников для лесной рекультивации в лесостепной зоне.

32. Ассортимент деревьев и кустарников для лесной рекультивации в степной зоне.

33. Подбор древесных и кустарниковых пород на отвалах и типы лесных культур.

34. Лесные культуры на отвалах, сложенных нетоксичными рыхлыми породами.

35. Специфика лесной рекультивации в горной местности и на торфоразработках (в сравнительном плане).

36. Лесная рекультивация мелких карьеров строительных материалов.

37. Особенности лесной рекультивации шахтных отвалов и терриконов.

38. Особенности лесной рекультивации гидроотвалов и дражных полигонов.

39. Опыт лесной рекультивации в Кузбассе.

40. Опыт лесной рекультивации на Урале.

41. Промышленная ботаника: определение и задачи.

42. Основные проблемы промышленной ботаники как самостоятельной области ботанических дисциплин (по В. В. Тарчевскому).

43. Реально решаемые в настоящее время проблемы промышленной ботаники в обобщенном виде.

44. Особенности биологической рекультивации отвалов Кизеловского угольного бассейна (блок-схема). Признаки, использованные для построения блок-схемы.

45. Особенности биологической рекультивации отвалов Веселовского и Богословского угольных месторождений (блок-схема). Признаки, использованные для построения блок-схемы.

46. Ассортимент многолетних трав для биологической рекультивации Коркинского угольного разреза. Их характеристика по биологическим свойст-

вам (высоте травостоя, темпам развития, способности к семенному возобновлению).

47. Биологическая рекультивация отвалов, сложенных фитотоксичными и каменистыми породами (на примере Кизеловского угольного бассейна).

48. Биологическая рекультивация отвалов, сложенных нетоксичными породами (на примере Веселовского и Богословского угольных месторождений).

49. Биологическая рекультивация золоотвалов тепловых электростанций.

50. Особенности биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель на Урале.

51. Определение и основные задачи экологического мониторинга.

52. Примеры проведения мониторинговых исследований на нарушенных промышленностью землях Урала: а) золоотвалы (ВТГРЭС, ЮУГРЭС); б) отвалы угольной промышленности.

53. Что такое экологический мониторинг?

54. Каковы задачи экологического мониторинга?

55. Как подразделяется мониторинг по масштабу наблюдений и характеру обобщения информации?

56. Каковы системы мониторинга по методам наблюдения?

57. Как классифицируются системы мониторинга?

58. Восстановление фиторазнообразия на золоотвалах тепловых электростанций в таежной зоне, подзона южной тайги.

59. Восстановление фиторазнообразия на золоотвалах тепловых электростанций в лесостепной зоне.

60. Восстановление фиторазнообразия на Южном Веселовском отвале (таежная зона, подзона средней тайги).

61. Схема формирования фитоценозов на золоотвале Верхнетагильской ГРЭС.

62. Схема формирования растительности на нарушенных землях Челябинского угольного бассейна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биологическая рекультивация нарушенных промышленностью земель – проблема комплексная. При ее проведении осуществляется моделирование экотопа (в первую очередь – эдафотопа) и культурфитоценозов разного направления использования. Решение этой проблемы, с одной стороны, является задачей нового научного направления – промышленной ботаники: выявление состава и особенностей роста и развития растений и установление сукцессионных смен фитоценозов техногенных ландшафтов, возникших как в процессе естественного восстановления растительного покрова, так и появившихся в процессе биологической рекультивации. С другой стороны, конструирование фитоценозов в этих специфических неоэкотопах – задача культурфитоценологии со всем комплексом возникающих вопросов.

Место биологической рекультивации в системе естественных наук и понятие «рекультивации» как науки рассматривается разными авторами, но окончательная формулировка пока не принята. В связи с этим авторы сочли возможным привести в заключении следующую таблицу:

Таблица

Биологическая рекультивация в системе естественных наук

(Чайкина, Объедкова, 2003)

Год разработки	Автор	Название научного раздела
1959	В. В. Тарчевский, д.б.н.	Экспериментальная ботаника Промышленная ботаника
1971	Е. М. Лавренко, акад., д.б.н.	Индустриальная биогеоценология
1972	Ю. З. Кулагин, д.б.н.	Индустриальная экология
1989	А. П. Травлеев, д.б.н.	Рекультоведение – особый раздел биогеоценологии, который служит теоретическим фундаментом оптимизации техногенных ландшафтов
1997	В. Л. Яковлев, д.т.н., чл.-корр. РАН, Г. М. Чайкина, к.б.н.	Рекультоведение (горная экология + индустриальная биогеоценология) – совокупность знаний о закономерностях создания и функционирования техногенных экосистем для обеспечения экологичности недропользования
2000	В. В. Засоба	Рекультивация – наука об общих закономерностях организации и производства соответствующих (рекультивационных) мероприятий

В целом, знакомство с основными вопросами биологической рекультивации – такими, как общие понятия, терминология, характеристика нарушенных промышленностью земель и их классификация, свойства и классификация вскрышных пород (субстратов) промышленных отвалов по степени их пригодности для биологической рекультивации, принципы лесной рекультивации разнотипных отвалов, весьма полезно будущим специалистам-экологам.

Практическая работа выпускников Уральского государственного университета в основном связана с Уральским регионом, поэтому большое внимание уделено материалу, характеризующему особенности биологической рекультивации нарушенных промышленностью уральских земель, хотя широко использованы результаты исследований, проведенных на Урале, на Украине, в Подмосковье, в Кузбассе и других промышленных регионах, за что авторам использованных публикаций приносим свою признательность и глубокую благодарность.

При необходимости более подробного знакомства с теоретическими и практическими проблемами биологической рекультивации земель можно воспользоваться приведенной литературой.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

Биологическая рекультивация техногенных ландшафтов: Указатель работ, выполненных в Уральском университете (1957–1999). Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2000. 60 с.

Зайцев Г. А., Моторина Л. В., Данько В. Н. Лесная рекультивация. М.: Лесная пром-ть, 1977. 128 с.

Краткий толковый словарь по рекультивации земель. Новосибирск: Наука, 1980. 35 с.

Махнев А. К., Чибрик Т. С., Трубина М. Р., Лукина Н. В. и др. Экологические основы и методы биологической рекультивации золоотвалов тепловых электростанций на Урале. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 356 с.

Махонина Г. И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. 356 с.

Моторина Л. В., Овчинников В. А. Промышленность и рекультивация земель. М.: Мысль, 1975. 240 с.

Пойкер Х. Культурный ландшафт: формирование и уход / Пер, с нем. В. В. Цветкова. М.: Агропромиздат, 1987. 176 с.

Программа и методика изучения техногенных биогеоценозов. М.: Наука, 1978. 228 с.

Сметанин В. И. Рекультивация и обустройство нарушенных земель. М.: Колос, 2000. 96 с.

Чайкина Г. М., Объедкова В. А. Рекультивация нарушенных земель в горнорудных районах Урала. Екатеринбург, 2003. 267 с.

Чибрик Т. С. Основы биологической рекультивации: Учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2002. 172 с.

Чибрик Т. С., Елькин Ю. А. Формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью землях (биологическая рекультивация). Свердловск: УрГУ, 1991. 220 с.

Чибрик Т. С., Лукина Н. В., Глазырина М. А. Характеристика флоры нарушенных промышленностью земель Урала: Учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2004. 160 с.

Экологические основы рекультивации земель. М.: Наука, 1985.

Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука, 1992.

Дополнительная

Баранник Л. П. Биологические принципы лесной рекультивации. Новосибирск: Наука, 1988. 84 с.

Бельгард А. Л. Степное лесоведение. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 336 с.

Биологическая рекультивация нарушенных земель: материалы Междунар. совещания, Екатеринбург, 26–29 августа 1996 г. Екатеринбург: УрО РАН, 1997.

281 с.

Биологическая рекультивация нарушенных земель: материалы Междунар. совещания, Екатеринбург, 3–7 июня 2002 г. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 616 с.

Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: материалы Междунар. науч. конф., Екатеринбург, 4–8 июня 2007 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2007. 928 с.

Герасимов И. П. Научные основы современного мониторинга окружающей среды // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1975. № 3. С. 13–25.

Евдокимова Т. В., Кузнецова Е. Г. Организация экологического мониторинга в зонах влияния производственных комплексов. // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: материалы Междунар. науч. конф., Екатеринбург, 4–8 июня 2007 г. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2007. С. 212–217.

Колесников Б. П., Пикалова Г. М. Классификация промышленных отвалов и условия почвообразования на них // Рекультивация земель в СССР. М., 1973. С. 33–64.

Колесников Б. П., Пикалова Г. М. К вопросу о классификации промышленных отвалов как компонентов техногенных ландшафтов // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1974. С. 3–28.

Кондратюк Е. Н., Тарабрин В. П., Хархота А. И. Проблемы и перспективы промышленной ботаники на современном этапе // Интродукция и акклиматизация растений. Вып. 14. Киев: Наукова думка, 1990. С. 3–8.

Красавин А. П., Хорошавин А. Н., Катаева И. В. Ускоренная рекультивация породных отвалов угольных предприятий с использованием микроорганизмов // Растения и промышленная среда. Свердловск: УрГУ, 1985. С. 124–130.

Пасынкова М. В. Зола углей как субстрат для выращивания растений // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1974. С. 29–44.

Пупырев Е. И. Опыты конструктивной экологии. М.: Прима-Пресс, 1997.

142 с.

Промышленная ботаника / Е. Н. Кондратюк, В. П. Тарабрин, В. И. Бакланов, Р. И. Бурда, А. И. Хархота. Киев: Наукова думка, 1980. 260 с.

Растения и промышленная среда: Сб. науч. тр. / Урал. гос. ун-т. Екатеринбург, 1992.

Растения и промышленная среда: Сб. науч. тр. / Урал. гос. ун-т. Свердловск, 1990, 1989, 1985, 1984, 1982, 1981, 1980, 1979, 1978, 1976, 1974,1970, 1964.

Растительность и промышленные загрязнения: Охрана природы на Урале. Свердловск, 1970.

Тарчевский В. В. Классификация промышленных отвалов // Растительность и промышленные загрязнения: Охрана природы на Урале. Вып. 7. Свердловск, 1970 а. С. 84–89.

Тарчевский В. В. К вопросу о выделении новой отрасли ботанических знаний – промышленной ботаники // Растительность и промышленные загрязнения: Охрана природы на Урале. Вып. 7. Свердловск, 1970 б. С. 5–9.

СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Баранник Л. П. Экологические обоснование и опыт лесной рекультивации техногенных территорий в Кузбассе // Программа и методика изучения техногенных биогеоценозов. М.: Наука, 1978. С. 159–165.

Баранник Л. П. Биологические принципы лесной рекультивации. Новосибирск: Наука, 1988. 84 с.

Баранник Л. П., Калинин А. М. Лес на промышленных пустынях. Кемерово: Кемеровское книжное изд-во, 1976. 60 с.

Бекаревич Н. Е., Масюк Н. Т., Чабан И. П., Забалуев В. А., Мыцык А. А. Экологически устойчивые модели рекультивированных земель для степной зоны Украины // Биологическая рекультивация нарушенных земель: Материалы Междунар. совещ. Екатеринбург, 3–7 июня 2002 г. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. С. 16–22.

Большаков В. Н. Предисловие // Методы экологического мониторинга: Большой специальный практикум: Учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2005. С. 3–6.

Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.

Внуков А. А. Экологические особенности лесовосстановления на нарушенных землях (на примере золоотвалов Рефтинской и Верхнетагильской ГРЭС): Автореф. дис. … канд. биол. наук. Екатеринбург, 1999.

Глазовская М. А. О биологическом круговороте элементов в различных ландшафтных зонах (на примере Урала) // Докл.: К VIII Междунар. конгрессу почвоведов. М., 1964. С. 148–156.

Глазырина М.А. Особенности формирования флоры и растительности в условиях отвалов и карьеров открытых угольных разработок (на примере Челябинского буроугольного бассейна): Автореф. дис. … канд. биол. наук. Екатеринбург, 2002. 17 с.

Горбунов Н. И. Химико-минералогические признаки пригодности вскрышных пород для использования при биологической рекультивации // Рекультивация в Сибири и на Урале. Новосибирск: Наука, 1970. С. 42–56.

ГОСТ 17.5.1.01-83. Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1983. 9 с.

ГОСТ 17.5.1.03-86. Охрана природы: Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель. М.: Изд-во стандартов, 1986. 9 с.

Зайцев Г. А., Моторина Л. В., Данько В. Н. Лесная рекультивация. М.: Лесная пром-ть, 1977. 128 с.

Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеоиздат, 1984.

Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. Новосибирск: Наука, 1991. С. 3–110.

Информационное письмо № 1–79 «Постоянное закрепление поверхностей золошлакоотвалов тепловых электростанций…». М.: Союзтехэнерго, 1979.

Ковальский В. В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 300 с.

Колесников Б. П. О научных основах биологической рекультивации техногенных ландшафтов // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск: Наука, 1974. С. 12–25.

Колесников Б. П., Лукьянец А. И. Биорекультивационное районирование Свердловской области // Растения и промышленная среда. Свердловск: УрГУ, 1976. С. 10–16.

Колесников Б. П., Моторина Л. В. Методы изучения биогеоценозов в техногенных ландшафтах // Программа и методика изучения техногенных биогеоценозов. М.: Наука, 1978. С. 5–16.

Колесников Б. П., Пикалова Г. М. К вопросу о классификации промышленных отвалов как компонентов техногенных ландшафтов // Растения и промышленная среда. Свердловск: УрГУ, 1974. С. 3–28.

Красавин А. П., Хорошавин А. Н., Катаева И. В. Некоторые особенности микробных ценозов в условиях токсичных пород шахтных отвалов // Растения и промышленная среда. Свердловск: УрГУ, 1982. С. 113–119.

Красавин А. П., Хорошавин А. Н., Катаева И. В. Ускоренная рекультивация породных отвалов угольных предприятий с использованием микроорганизмов // Растения и промышленная среда. Свердловск: УрГУ, 1985. С. 124–130.

Красавин А. П., Хорошавин А. Н., Катаева И. В. Восстановление нарушенных земель с использованием бактериальных препаратов // Вестн. с.-х. науки. 1988. № 10. С. 64–68.

Курочкина Л. Я., Вухрер В. В. Развитие идей В. Н. Сукачева о сингенезе // Вопросы динамики биогеоценозов: Докл. на IV ежегодн. чтении памяти акад. В. Н. Сукачева. Москва, 18 ноября 1985 г. М., 1987. С. 5–27.

Лукина Н. В. Особенности формирования флоры и растительности в условиях золоотвалов тепловых электростанций: Автореф. дис. … канд. биол. наук. Екатеринбург, 2002. 17 с.

Лукьянец А. И. Закономерности естественного облесения промышленных отвалов Свердловской области // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск: Наука, 1974 а. С. 241–248.

Лукьянец А. И. Естественное возобновление древесных растений на железнодорожных отвалах открытых разработок Карпинско-Волчанского буроугольного бассейна (Свердловская область) // Растения и промышленная среда. Свердловск: УрГУ, 1974 б. С. 138–158.

Лукьянец А. И. Архитектоника и фитомасса корневой системы естественных сосняков на железнодорожных отвалах Богословского и Веселовского месторождений бурого угля // Рекультивация земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых: Тез. докл. коорд. совещ. Тарту, 1975. С. 151–157.

Махнев А. К., Внуков А. А. Особенности роста и развития древесных растений в культурдендроценозах на золоотвале Рефтинской ГРЭС // Биологическая рекультивация нарушенных земель: Материалы Междунар. совещ., Екатеринбург, 26–29 августа 1996 г. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. С. 169–184.

Махонина Г. И. Первичные стадии почвообразования на промышленных отвалах Урала // Освоение нарушенных земель. М., 1976. С. 44–56.

Махонина Г. И. Химический состав растений на промышленных отвалах Урала. Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1987. 176 с.

Махонина Г. И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. 356 с.

Миркин Б. М. Теоретические основы современной фитоценологии. М.: Наука, 1985. 136 с.

Миркин Б. М., Розенберг Г. С. Толковый словарь современной фитоценологии. М.: Наука, 1983. 134 с.

Моторина Л. В., Овчинников В. А. Промышленность и рекультивация земель. М.: Мысль, 1975. 240 с.

Озеленение золоотвалов тепловых электростанций Урала: Проспект ВДНХ. Свердловск, 1964. 7 с.

Опыт закрытия растительностью шлаконаливных полей (золоотвалов) тепловых электростанций Урала: Проспект ВДНХ / В. В. Тарчевский, С. Я. Беспрозвана, Г. М. Власова, М. В. Хамидулина, Ф. М. Шубин. Свердловск, 1962. 15 с.

Пасынкова М. В. Зола углей как субстрат для выращивания растений // Растения и промышленная среда. Свердловск: УрГУ, 1974. С. 29–44.

Пикалова Г. М. Некоторые особенности биологии костра безостого, регнерии волокнистой и люцерны синегибридной при выращивании на каменноугольной золе: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 1968. 20 с.

Рева М. Л., Бакланов В. И. Почвообразовательные процессы на отвалах каменноугольных шахт Донбасса // Рекультивация промышленных пустошей. М., 1972.

Савич А. И. К вопросу о классификации вскрышных пород для целей биологической рекультивации // Проблемы рекультивации земель в СССР. Новосибирск: Наука, 1974. С. 124–130.

Таранов С. А. Использование гуминов окисленных углей для ускорения гумусонакопления на грунтах с карбонатными лессовидными суглинками в Кузбассе // Рекультивация в Сибири и на Урале. Новосибирск: Наука, 1970. С. 81–88.

Тарчевский В. В. Закономерности формирования фитоценозов на промышленных отвалах: Автореф. ... д-ра биол. наук / Том. ун-т. Томск, 1967. 36 с.

Тарчевский В. В. Классификация промышленных отвалов // Растительность и промышленные загрязнения: Охрана природы на Урале. Вып. 7. Свердловск, 1970 а. С. 84–89.

Тарчевский В. В. К вопросу о выделении новой отрасли ботанических знаний – промышленной ботаники // Растительность и промышленные загрязнения: Охрана природы на Урале. Вып. 7. Свердловск, 1970 б. С. 5–9.

Травлеев А. П., Овчинников В. А., Зверковский В. Н., Цветкова Н. Н., Лындя А. Г. Биогеоценотический покров Западного Донбасса, его техногенная динамика и оптимизация: Учеб. пособие. Днепропетровск: ДГУ, 1988. 72 с.

Трифонова Т. А., Селиванова Н. В., Мищенко Н. В. Прикладная экология: Учебное пособие для вузов. М.: Академический Проект: Традиция, 2005. 384 с.

Трофимов С. С., Овчинников В. А. Антропогенный рельеф Кузбасса // Рекультивация в Сибири и на Урале. Новосибирск: Наука, 1970. С. 5–24.

Филимонова Е.И. Экологические основы формирования и динамики фитоценозов на полигонах при добыче россыпного золота: Автореф. дис. … канд. биол. наук. Екатеринбург, 2005. 18 с.

Чайкина Г. М., Объедкова В. А. Рекультивация нарушенных земель в горнорудных районах Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 267 с.

Чибрик Т. С. К вопросу о биологической рекультивации нарушенных земель угольных месторождений Урала // Биологическая рекультивация нарушенных земель: Материалы Междунар. совещ. Екатеринбург, 3–7 июня 2002 г. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. С. 542–557.

Чибрик Т. С., Кравченко Н. В. Флора и растительность золоотвалов в зависимости от зонально-климатических условий // Растения и промышленная среда. Свердловск: УрГУ, 1990. С. 8–22.

Чибрик Т. С., Елькин Ю. А. Формирование фитоценозов на нарушенных промышленностью землях (биологическая рекультивация). Свердловск: УрГУ, 1991. 220 с.

Чибрик Т. С., Лукина Н. В., Глазырина М. А. Характеристика флоры нарушенных промышленностью земель Урала: Учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2004. 160 с.

Шенников А. П. Введение в геоботанику. Л.: Изд-во ЛГУ, 1964. 447 с.

Шубин Ф. М. Особенности роста и развития донника белого, люцерны желтой и регнерии волокнистой на каменноугольной золе: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 1970 б. 20 с.

Юрцев Б. А., Семкин Б. И. Изучение конкретных и парциальных флор с по-мощью математических методов // Ботан. журн. 1980. Т. 65, № 12. С. 1706–1718.

Adamowicz S., Bojarski L., Greszta I., Paczeniowski I., Paprzycki E., Skawina T., Sokolowski Z., Weglowski S., Zulawski C. Wplyn Gornichwa Podziemnego na gospodarke lesna oraz zasady postepowania w sprawach o zkody gornicze w lasach // Biuletyn. Zaklad Badan Naukowych (Vroclaw; Warszawa; Krakow). 1963. N 1.

Hall I. G. The ecology of disused pit heaps in England // Ecol. 1957. V. 45, N 3.

Limstrom I. A. Forestation of stripmined Land in Central states // Agriculture Handbook. 1960. N 166.

Paprzycki E. Kiasyfikacia nieuzytkow poprzemyslowych // Biuletyn Zaklad Ochrany Przyrody. APAN (Warszawa). 1956. N 1.

Содержание

Введение ……. 3

Лекция 1. Биологическая рекультивация земель как отрасль научного знания …… 5

Лекция 2. Технология биологической рекультивации …… 32

Лекция 3. Сельскохозяйственное направление биологической рекультивации …… 56

Лекция 4. Лесохозяйственное направление биологической рекультивации …… 71

Лекция 5. Особенности биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель на Урале …… 104

Лекция 6. Основные направления комплексных исследований и экологического мониторинга нарушенных промышленностью земель …. 155

Вопросы для самоконтроля …… 180

Заключение …….. 184

Список рекомендуемой литературы ……. 185

Список цитируемой литературы …….……. 188