

ЭКОСИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

Рассмотрен экосистемный подход при лесотехнической рекультивации нарушенных земель в горнодобывающих регионах, учитывающий комплекс экологических факторов, влияющих на эффективность восстановления техногенных ландшафтов.

Розглянуто екосистемний підхід при лісотехнічній рекультивації порушених земель в гірничодобувних регіонах, який враховує комплекс екологічних чинників, що впливають на ефективність відновлення техногенних ландшафтів.

An ecosystem approach by forestry land reclamation of disturbed lands in mining regions that takes into account the range of environmental factors affecting the efficiency of technogenic landscapes rehabilitation is considered.

Вступление. Лесотехническая рекультивация нарушенных земель в горнодобывающих регионах является важным направлением оптимизации техногенных ландшафтов, составной частью мероприятий по оздоровлению окружающей природной среды. Биологический этап рекультивации включает комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на создание устойчивого растительного покрова на поверхности техногенных массивов пород. Задачи восстановления земель сводятся в основном, к восстановлению топографии и продуктивности земель до их первоначального состояния и созданию благоприятных условий для последующего землепользования.

Последние достижения. Мировая практика показывает, что эти задачи в значительной степени решаются посредством проведения биологической фито-рекультивации техногенных ландшафтов, так как установление стабильных растительных сообществ (фитоценозов), в конечном счете, предопределяет устойчивость и продуктивность техноэкосистемы в целом. Факторы техногенеза в горнодобывающих регионах являются неблагоприятными для растительности вследствие деградации земель, исчезновения и угнетения типичных видов растений и животных, нарушения естественных почвенных биосистем (педоценозов). Поэтому, правильно спланированная фиторекультивация способствует процессам почвообразования, возрождению почвенного покрова и развитию первичных растительных сообществ на техногенных ландшафтах. С течением времени пионерные фитоценозы способствуют процессам естественного восстановления ландшафта, выступая как средообразующий фактор.

Формулирование целей. Несмотря на то, что разработаны многочисленные технологии рекультивации земель, мировой опыт показывает, что в этой области существуют проблемы, связанные с созданием устойчивых растительных сообществ, подбором ассортимента древесно-кустарниковой растительности, доступностью элементов минерального питания растений и длительным влиянием токсичных веществ породных массивов на флору и фауну. Поэтому выявление узких мест в технологиях ведения рекультивационных работ представляет научный и прикладной интерес.

Целью работы является выявление приоритетных экологических факторов восстановления нарушенных горными работами ландшафтов и определить эффективные стратегии направленной фиторекультивации.

Роль растительности в восстановлении земель: экосистемный подход.

Как в естественной среде, так и в искусственно созданной экосистеме любое растительное сообщество представляет собой не спонтанный набор видов растений, а упорядоченную систему со свойственными ей процессами круговорота веществ, энергии и информации, внутривидовыми и межвидовыми взаимоотношениями и т.д. Экосистема будет нормально и продолжительно функционировать, если эти процессы находятся в состоянии устойчивого баланса. В этом состоянии любое воздействие внешних факторов побуждает систему сопротивляться этому влиянию. Ключевой задачей успешной рекультивации является создание устойчивых фитоценозов способных не только существовать на техногенной территории, но и выступать в качестве средообразующей силы, ускоряющей естественное восстановление нарушенных земель. При этом учитывается комплекс экологических факторов, влияющих на эффективность установления растительных сообществ (рисунок).



Рис.1. Основные экологические факторы, влияющие на эффективность биологической рекультивации

Растительность оказывает существенное влияние на свойства почвы. Растения определяют гидрологические характеристики и обеспечивают механическую стабильность, что особенно важно для закрепления склонов. Их корни поглощают большое количество воды, которая, испаряясь, возвращается в атмосферу. Корнеобитаемый слой служит средой существования для многочисленных микроорганизмов, которые участвуют в круговороте питательных веществ, создавая тем самым условия для существования других организмов [1].

Наземные части удерживают частицы почвы и препятствуют развитию эрозионных процессов. Остатки растений увеличивают пористость и проницаемость поверхностного слоя субстрата, замедляя и снижая интенсивность поверхностного стока. В процессе фотосинтеза растения накапливают биомассу, часть которой возвращается в почву в виде листового опада.

Плотный растительный покров обеспечивает защиту поверхности от водной и ветровой эрозии, уменьшая загрязнение стока смываемым осадком и воздуха частицами пыли. Растительный покров из многолетних трав не всегда обеспечивает долговременную и эффективную защиту от эрозии на техногенных территориях [2]. Многолетние травы могут служить в качестве пионерных сообществ, которые подготавливают условия для более долговечной древесно-кустарниковой растительности.

Деревья и кустарники в большей степени влияют на процессы почвообразования и накопления органического вещества. Они также создают среду обитания для многочисленных представителей фауны, которые представляют важное звено в трофических цепях экосистемы [3].

Ввиду сложности комплексного влияния экологических факторов в экосистеме, рассмотрим наиболее значимые из них, недостаток или избыточное воздействие которых создает проблемы при лесотехнической рекультивации нарушенных земель.

Физико-химические свойства пород. Физико-химические характеристики субстрата представляют основную проблему для успешного проведения фито-рекультивационных работ на техногенных территориях.

Почва, сформированная в естественных условиях, представляет собой органно-минеральное образование, сложенное из продуктов разрушения пород земной коры, веществ органического и неорганического происхождения, а также биоценоза почвенных организмов. В результате долговременной эволюции почва трансформируется в динамическую систему, насыщенную фракциями органических и неорганических веществ, сообществом организмов и продуктами их жизнедеятельности.

В отличие от почв, свойства горных пород, складываемых на дневной поверхности в виде отвалов и насыпей, обусловлены физико-химическими характеристиками исходных геологических пластов. В них практически отсутствует органическое вещество и почвенные организмы, необходимые для создания устойчивой и самоподдерживающейся экологической системы.

Существенными физико-механическими характеристиками пород, препятствующими озеленению насыпных массивов пород, являются их уплотненность и неравномерная структура, что препятствует корневой системе растений

нормально развиваться, а также влияние токсичных веществ в повышенных концентрациях [2].

Доступность элементов минерального питания. Для роста растения потребляют питательные вещества из почвенного раствора посредством корневой системы. В насыпных массивах пород этих веществ, как правило, недостаточно. Это касается, в первую очередь, соединений азота и фосфора.

Азот – структурный компонент аминокислот и белков в клетках и необходим для роста биомассы растений. Изначально в насыпных массивах практически отсутствуют доступные для усвоения растениями формы азота. В северной Англии получила распространение практика внесения азотных удобрений непосредственно на рекультивируемые участки с целью создания первичных условий для произрастания растений [4]. Однако такой эффект недолговечен. Долговременный круговорот азота в поверхностном слое пород может быть обеспечен азотфиксирующими растениями и их почвенными симбионтами [5], которые своей деятельностью способствуют развитию экосистемы.

Фосфор – необходимый компонент нуклеиновых кислот, белков, аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ) и ряда других жизненно важных органических веществ, принимающих участие в метаболизме клеток. Это сравнительно мало распространенный элемент и часто бывает фактором, лимитирующим продуктивность экосистем. Его недостаток угнетает рост растений, особенно корневой системы [2].

Калий необходим растениям в таких же количествах, как и азот. Калий необходим для поддержания анионного, катионного и осмотического балансов в клетках растений и осуществления множества ферментативных реакций. Количество калия в отходах горного производства варьирует в значительных пределах, поэтому его дополнительное внесение на рекультивируемые земли определяется в зависимости от химического состава пород и видового состава растительного сообщества предполагаемого для рекультивационных мероприятий.

Активная реакция почвенной среды (pH). Множество проблем, связанных с установлением устойчивого древесного покрова на нарушенных горными работами территориях, прямо или косвенно связано с активной реакцией среды (pH). При этом, низкие значения pH среды оказывают наиболее токсичный эффект на растения по сравнению с нейтральными или щелочными значениями.

Повышение кислотности наблюдается в горных породах, содержащих минералы, способные к окислению, например пирит (FeS). Известная проблема горящих породных отвалов связана, главным образом, с эндогенными реакциями окисления железа и серы обусловленных воздействием атмосферных факторов и ферментативной активностью микроорганизмов. Продуктами реакций являются трехвалентное железо, сульфаты и высвобождающиеся протоны водорода, снижающие pH пород до 3,5-4,0 и ниже. Исследованиями установлено, что при таких значениях pH рост многих растений угнетен [4]. Кроме того, при снижении pH происходит выщелачивание из породной массы тяжелых металлов, прежде всего алюминия и марганца, которые минерализуются и в виде солей усиливают токсичный эффект пород.

Таким образом, окислительные процессы в насыпных массивах влекут за собой повышение кислотности и образование солей тяжелых металлов, которые накапливаются в поверхностном слое пород вследствие естественного испарения влаги, ухудшая пригодность пород для произрастания растений. На территориях с влажным климатом кислотные и солевые компоненты вымываются из поверхностного слоя пород, загрязняя прилегающие территории и поверхностные водотоки. Атмосферные осадки, стекающие по поверхности отвалов породы, имеют pH от 1,9 до 3,1 и содержат большие количества железа и других тяжелых металлов [2].

Форма насыпных массивов пород и экспозиция склонов. В соответствии с технологией отвалообразования насыпные массивы пород в основном имеют форму обычного или усеченного конуса.

Форма и экспозиция склона значительно влияют на приживаемость древесных форм растительности. Условия наиболее благоприятны у подножия породных отвалов и на нижних частях склонов, где больше влаги, а также частиц почвы, привнесенных в результате эрозионных процессов. [5]. На склонах отвалов растительность испытывает недостаток влаги и подвержена воздействию склоновых процессов, таких как водная эрозия, перемещение частиц поверхностного слоя пород и т.д.

Крутизна склонов определяет интенсивность процессов водной эрозии, и накопления органического вещества в нижней части склонов. Однако следует учитывать, что в процессе выщелачивания солевых компонентов из верхних частей склона у подножия отвала может происходить аккумуляция токсичных веществ, угнетающих биоту.

Также важна экспозиция склона по отношению к сторонам горизонта. Южные склоны получают больше дневного света, но интенсивность испарения на таких участках выше, что может быть решающим при подборе ассортимента древесно-кустарниковой растительности.

Биоразнообразие и конкуренция. Биоразнообразие флоры и фауны является индикатором устойчивости и продуктивности экосистемы. Чем больше видов растений и животных населяет данную территорию (экотоп), тем больше вещества и энергии проходит по цепям питания и соответственно больше биомассы накапливается в экосистеме.

Разнообразное сообщество живых организмов обуславливает более сложные их взаимодействия в экосистеме. Конкуrentные взаимоотношения внутри популяций, видов и между различными видами растений и животных на данной территории способствуют последовательной смене биоценозов (сукцессии), результате чего через определенный период времени развивается динамическая и устойчивая экосистема. Например, древесно-кустарниковая растительность, интродуцированная на поверхности породных отвалов удерживает влагу, пополняет запас органического вещества, и в целом создает микроклимат необходимый для других видов растений. В то же время растения конкурируют за пространство, свет, влагу, доступные элементы минерального питания и другие факторы роста. Так травяной покров на поверхности рекультивируемого уча-

стка поглощает влагу из поверхностного слоя, затрудняя развитие корневой системы саженцев деревьев и угнетая их рост.

Таким образом, при планировании биологического этапа рекультивации необходим экосистемный подход, позволяющий выявить сложные взаимоотношения между организмами внутри биологической системы и оценить влияние факторов окружающей среды на составляющие ее компоненты.

Стратегии фиторекультивации нарушенных земель. Опыт рекультивации породных отвалов Центрального Донбасса доказывает, что посадка древесных культур непосредственно после прекращения деятельности горного предприятия является малоэффективным мероприятием ввиду ряда причин. Во-первых, отсутствует почвенный покров, являющийся источником необходимых для роста деревьев питательных веществ, а породная масса не содержит их в достаточном количестве. Во-вторых, в породе, как правило, содержится широкий спектр химических элементов, например тяжелых металлов, и токсичных соединений, которые угнетают нормальный рост растений. Кроме того, для озеленения породных отвалов древесными породами требуется продолжительный период времени. Исследованиями установлено, что горнопромышленные ландшафты способны к естественной фиторекультивации благодаря самовосстанавливающей способности экосистем. Так, после прекращения эксплуатации породных отвалов при определенных климатических условиях может происходить произвольное самозаращение их поверхности типичными для данной местности растительными сообществами [5]. В целях создания благоприятной почвы для посадки быстрорастущих древесных культур целесообразно сначала создать на породном отвале искусственный фитоценоз, состоящий из типичных для данной местности травянистых растений. Для этого необходимо наиболее полно знать видовой состав растительности, которая заселяет техногенные ландшафты после прекращения горных работ.

При этом основная задача экологической технологии заключается в том, чтобы заметить, проанализировать и оценить этот природный потенциал самовосстановления техноэкосистемы с целью направленной рекультивации, а также спрогнозировать сценарий эколого-экономического развития территории на ближайшую и отдаленную перспективы.

При выборе стратегии фиторекультивации нарушенных горными работами земель логично решить следующие прикладные задачи:

- проанализировать физико-химические характеристики почв и пород и выделить лимитирующие факторы роста;
- предложить способы улучшения мелиоративных свойств почв и пород, определить оптимальную дозу внесения мелиорантов без угрозы вторичного загрязнения близлежащих территорий и водотоков;
- оценить видовой состав растительности на данной территории и выделить доминантные виды для направленной интродукции на нарушенных землях или насыпных массивах пород.

Данные задачи не являются универсальными, и выбор стратегии рекультивационных работ определяется в зависимости от специфических условий региона и направлений дальнейшего землепользования.

Улучшение мелиоративных свойств почв и пород. Технологии применения природных и искусственных удобрений на нарушенных землях с целью снабжения поверхностного слоя пород основными элементами минерального питания является толчковым механизмом для улучшения свойств пород и установления первичной растительности. Кроме химических соединений применяются солома, навоз, биоосадки сточных вод, остатки древесины и отходы различных производств и т.д. Тем не менее, следует учитывать, что наличие в отходах больших количеств неорганических соединений и тяжелых металлов может вызвать вторичное загрязнение территорий, нарушить трофические цепи питания и негативно повлиять на активность микроорганизмов в техноэкосистеме, которые модулируют круговорот элементов минерального питания растений [2].

Землевание. Нанесение слоя почвы или потенциально плодородных земель на поверхность насыпных массивов пород или нарушенных земель используется в практике рекультивации на протяжении нескольких десятилетий. Исследованиями доказано, что землевание не всегда является приемлемым и эффективным мероприятием, прежде всего из-за недостатка ресурса почвы [2]. Также со временем органические вещества из земляных буртов вымываются, и плодородие почвы существенно снижается.

Подбор древесно-кустарниковой растительности для фиторекультивации. Деревья и кустарники для рекультивации должны быть нетребовательны к условиям произрастания на техногенных землях, легко адаптироваться к негативным факторам среды, выдерживать межвидовую конкуренцию и сохранять способность к размножению. Предпочтение отдается видам способным фиксировать атмосферный азот, выносить недостаток питательных веществ и высокие концентрации токсичных соединений. Также хорошим вариантом лесотехнической рекультивации может быть применение видов деревьев типичных для данной местности вследствие их эволюционной адаптации.

Роль пионерных сообществ. Развитие устойчивого фитоценоза является долговременным процессом, поэтому на первых стадиях колонизации техногенно нарушенных земель формируются пионерные сообщества растительности, роль которых заключается в первичном накоплении органического вещества. Деревья и кустарники производят значительное количество листовного опада, что способствует формированию почвенного субстрата [6].

Немногие виды деревьев и кустарников способны к освоению территорий с высоким уровнем загрязнения. Наиболее толерантными видами являются, например, белая акация и ольха, которые к тому же обладают азотфиксирующими функциями. Подобные виды используются для инициации круговорота питательных веществ в формирующейся экосистеме, улучшения механических и физико-химических параметров почвенного покрова и развития почвенной микрофлоры.

В табл. 1 приведен перечень деревьев и кустарников, наиболее часто используемых в мировой практике рекультивации техногенных ландшафтов.

Таблица 1

Деревья и кустарники, используемые для рекультивации [2]

Латинское название	Обычное название	Западная Европа	Восточная Европа	Россия	Украина	США, Канада
Acer spp.	Клен обыкновенный	•	•			•
Acer pseudo-platanus	Клен псевдоплатановый (явор)	•	•			
Alnus spp. ^{1,2}	Ольха	•	•			•
Betula spp.	Береза	•	•		•	
Crataegus spp.	Боярышник	•	•			
Elaeagnus ongustifolia	Лох узколистный	•				
Fraxinus alba	Ясень белый		•			
Fraxinus excelsior	Ясень европейский	•	•			•
Hippophae rhamnoides	Облепиха обыкновенная	•	•	•		
Juniperus spp.	Можжевельник					•
Larix spp.	Лиственница		•			•
Ligustrum vulgare	Бирючина		•			
Lonicera maackii ⁴	Жимолость					•
Malus spp.	Яблоня				•	
Picea spp.	Ель		•	•		•
Pinus spp.	Сосна	•	•	•	•	•
Populus spp.	Тополь	•	•	•	•	•
Populus tremula	Осина	•	•	•	•	•
Prunus spp.	Слива	•				
Prunus avium	Черешня	•				
Pyrus spp.	Груша	•				
Quercus spp.	Дуб	•	•			•
Rhus tribolata	Сумах	•				•
Robinia pseudoacacia ¹	Акация белая		•		•	•
Salix spp.	Ива	•	•			•
Sambucus spp.	Бузина (самбук)	•				
Sorbus spp.	Рябина	•	•			
Spiraea spp.	Спирея, таволга	•	•			
Taxus spp.	Тис	•				
Tilia spp.	Липа	•	•		•	
Ulmus spp.	Вяз, ильм		•		•	

Примечание. Характерные свойства: ¹азотфиксирующие, ²кислоточувствительные, ³засухоустойчивые, ⁴агрессивный сорняк

Корневая система. Пионерные виды обладают способностью приспособивать морфологически корневую систему к почвенному субстрату и адекватно реагировать на меняющиеся условия среды. Деревья и кустарники с мощной корневой системой, способной глубоко проникать в породный субстрат, являются наилучшим выбором для нужд лесотехнической рекультивации. С помощью таких видов можно эффективно закреплять склоны насыпных массивов и препятствовать эрозионным процессам.

Доступность посадочного материала. Для рекультивации больших площадей проблему представляет поиск посадочного материала. Растения, произрастающие в данной местности и подходящие для установления первичных сообществ, например акация белая, боярышник обыкновенный, виды шиповника и терна невозможно приобрести в озеленительных хозяйствах из-за отсутствия на них постоянного спроса. С другой стороны, саженцы таких видов как липа, клен, сосна, выращенные в тепличных условиях, могут не прижиться на техногенных территориях с неблагоприятными условиями произрастания.

Прямой посев. С целью снижения затрат на проведение биологического этапа рекультивации часто используется прямой посев семенного материала древесно-кустарниковой растительности. Подобная практика не всегда успешна, особенно в зонах с засушливым климатом, где количество влаги является лимитирующим фактором среды. Более того, высокие концентрации тяжелых металлов в породном субстрате и низкие значения pH губительно влияют на молодые проростки. Для установления пионерных сообществ наиболее приемлем прямой посев семян многолетних трав [5].

Посадка саженцев из емкостей. Посадка молодых саженцев деревьев, выращенных в контейнерах, дает положительные результаты. Контейнеры могут быть съемными или из биоразлагаемого материала, например торфа.

Саженцы деревьев, выращенные предварительно в емкостях, сохраняют развитую форму в объеме плодородной почвы и остаются неповрежденными при высадке в открытый грунт. После высадки в открытый грунт такие саженцы лучше приживаются в агрессивных условиях среды и обладают лучшей выносливостью по сравнению с растениями, высаженными в грунт голыми корнями. При этом, единственным фактором, лимитирующим рост растений, является недостаток влаги, так как земляной ком при контакте с породой и под воздействием внешних факторов (ветер, температура) подвергается иссушению. Поэтому биологический этап рекультивации с высадкой деревьев и кустарников целесообразно проводить по контуру нижнего основания отвалов и на нижних склонах, где количество влаги и привнесенных частиц почвы в верхнем слое породы достаточно для нормального роста [6].

Применение обогащенной почвы или мелиорантов при высадке саженцев в пробуренные лунки на поверхности отвалов создает первичную среду богатую доступными элементами питания, что способствует быстрому развитию мощной корневой системы, способной глубоко проникать вглубь субстрата.

Временные рамки. Биологический этап рекультивации целесообразно проводить в весенний период, поскольку поверхностный слой грунта достаточно прогрет и содержит в избытке влагу. Также необходимо учитывать, что

дни с переменной облачностью наиболее благоприятны для высадки саженцев растений в открытый грунт вследствие меньшей интенсивности испарения. В данный период органы растений в меньшей степени подвергаются иссушению и быстрее адаптируются к породному субстрату.

Вывод. Лесотехническая рекультивация земель в горнодобывающих регионах предполагает полное восстановление техногенных ландшафтов, включая контроль эрозионных процессов и создание условий для развития устойчивой и полноценно функционирующей природной экосистемы. Использование деревьев и кустарников, обладающих адаптационными функциями и толерантностью к неблагоприятным факторам среды, является наиболее эффективным способом рекультивации насыпных массивов пород.

На техногенных ландшафтах деревья растут относительно медленно вследствие низкой продуктивности земель и химического загрязнения. Поэтому установление плотного покрова из древесно-кустарниковой растительности может занять до нескольких десятков лет, что является недостатком лесотехнической рекультивации. Однако, несмотря на длительность создания устойчивого растительного покрова и первоначальные затраты на приобретение саженцев деревьев, длительная стратегия лесотехнической рекультивации представляется наилучшим вариантом планомерного восстановления техногенных территорий для нужд последующего эффективного использования.

Список литературы

1. Gray, D.H. 1995. Influence of vegetation on the stability of slopes. pp. 1-24. In: D.H. Barker (ed.), Vegetation and Slopes: Stabilization, Protection and Ecology, Inst. Civil Eng., London.
2. Haigh, M.J. 2000. Reclaimed Land: Erosion Control, Soils and Ecology. A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.- 385 p.
3. Haigh, M.J. 1992. Degradation of 'reclaimed' lands previously disturbed by coal mining in Wales: causes and remedies. Land Degradation and Rehabilitation 3: 169-180.
4. Palmer, J.P. 1990. Nutrient cycling: the key to reclamation success? pp. 27-36. In: J.C. Chambers and G.L. Wade (eds.). Evaluating Reclamation Success: the Ecological Consideration. US For. Serv., NE For. Exper. Station, Broomall, PA, Gen. Tech. Rept. NE-164.
5. Ковров А.С. Исследование видового разнообразия растительности породного отвала ликвидированной шахты «Селидовская» // Сб. науч. тр. НГА Украины.- 2000.- №10.- С. 123-127.
6. Ковров А.С. Исследование приживаемости искусственно интродуцированных растительных сообществ на склонах породных отвалов // Сб. науч. тр. НГА Украины. - 2001.- №11, Т.1.- с. 113-119.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є.
Надійшла до редакції 05.03.2013*