

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

Е. Г. Незнамова

БИОИНЖИНИРИНГ ОТКРЫТЫХ ЭКОСИСТЕМ

Учебно-методическое пособие для проведения практических занятий для студентов
технических вузов всех направлений и специальностей подготовки бакалавров, специалистов
и магистров

Томск

2022

УДК 504 (075.8)
ББК 20.1я73
Н 55

Незнамова, Елена Григорьевна

Н 55 Биоинжиниринг открытых экосистем Учебно-методическое пособие для проведения практических занятий для студентов технических вузов всех направлений и специальностей подготовки бакалавров, специалистов и магистров/ Е.Г. Незнамова. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2022. – 20 с.

Представлены программа и методические указания по содержанию и проведению практических занятий по дисциплине. Учебно-методическое пособие предназначено для студентов технических вузов всех направлений и специальностей подготовки бакалавров, специалистов и магистров.

Одобрено на заседании кафедры РЭТЭМ протокол № от 30.05.2022.

УДК 504 (075.8)
ББК 20.1я73

© Незнамова Е.Г., 2022
© Томск. гос. ун-т систем упр.
и радиоэлектроники

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Раздел дисциплины: Реабилитация загрязненных территорий.....	4
1.1 Практическое занятие по теме: Принципы и методы рекультивации.....	4
1.2 Практическое занятие по теме: Методы оценки дигрессии экосистем. Оценка перспектив реабилитации территории. Оценка состояния и планирование рекреационной зоны.....	6
2 Раздел дисциплины: Восстановление водных экосистем.....	10
2.1 Практическое занятие по теме: Гидротехнические аспекты рекультивации.....	10
3. Раздел дисциплины: Биологические методы рекультивации.....	12
3.1 Практическое занятие по теме: Особенности рекультивации территорий разных климатических зон и различного назначения использования	12
4. Раздел дисциплины: Восстановление лесных территорий.....	18
4.1 Подготовительные работы перед лесопосадками. Подбор культур. Оценка эффективности приживаемости. Эстетические аспекты результатов рекультивации. Учет естественной сукцессии экосистем.....	18
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	20

1 Раздел дисциплины: Реабилитация загрязненных территорий

1.1 Практическое занятие по теме: Принципы и методы рекультивации

Рекультивация нарушенных горными разработками земель проводится, как правило, в три этапа.

Первый этап — подготовительный. На этом этапе проводят обследование нарушенных территорий, определяют направление рекультивации, составляют технико-экономическое обоснование и проект рекультивации.

Второй этап — горно-техническая рекультивация.

В зависимости от региональных условий второй этап может включать промежуточную стадию — химическую мелиорацию.

Горно-техническую рекультивацию обеспечивают предприятия, которые ведут разработку полезных ископаемых. Необходимость рекультивации земель, нарушенных разработками, оказывает большое влияние на технологию и экономические показатели разработки месторождения, на выбор системы разработки, способа отвалообразования, средств механизации вскрышных и отвальных работ и способа транспортировки пород на отвалы.

Выбор технологии горно-технической рекультивации зависит:

- 1) от вида последующего использования рекультивируемых площадей;
- 2) от мощности, объема и расстояния транспортировки плодородного слоя почвы и вскрышных пород с хорошими почвообразующими свойствами, отдельно вынимаемых и укладываемых на поверхность восстанавливаемых отвалов;
- 3) от принятой системы разработки и способа формирования отвала, объемов работ по разравниванию, гребней и планировки поверхностей, подлежащих выколаживанию до укладки на поверхность отвальных пород с хорошими почвообразующими структурами;
- 4) от типа и характеристики основного оборудования, порядка и скорости перемещения фронта работ карьера;
- 5) от равномерной загрузки оборудования в течение всего срока эксплуатации карьера;
- 6) от свойств плодородного слоя почвы и вскрышных пород, укладываемых на поверхность отвалов;
- 7) от рельефа, климата, гидрологии территории, господствующих геохимических процессов в данном районе до и после разработок.

Этап горно-технической рекультивации должен проходить в процессе эксплуатации карьера. Выполнение этого условия, во-первых, экономит затраты на разравнивание отвалов, так как работы ведутся с рыхлыми свежеложенными породами, которые требуют меньших усилий на резание и перемещение грунта; во-вторых, сокращает период освоения рекультивированных площадей, так как первое разравнивание происходит в период формирования отвалов, а второе — после частичного самоуплотнения в период рекультивации.

Этап горно-технической рекультивации имеет несколько стадий и включает в себя целую серию необходимых работ по формированию рельефа местности.

Третья стадия — формирование потенциально плодородного корнеобитаемого слоя для последующего этапа биологической мелиорации. Если вскрышные породы нетоксичны или содержат не более 20% токсичных пород, то на этой стадии в верхней части отвалов укладывается плодородный гумусированный слой почвы, предварительно вынутый и складированный.

Опытные исследования, проведенные в ФРГ, показали, что при слое насыпного лёсса до 1 м урожайность сельскохозяйственных культур резко повышается, от 1 до 2 м — повышение урожайности незначительное, при дальнейшем увеличении насыпного слоя лёсса урожайность не повышается. Учитывая результаты опыта и экономическую целесообразность на ближних участках, рекультивируемых для сельскохозяйственного использования, насыпается слой лёсса 2 м, на дальних — 1 м.

При формировании отвалов для лесной рекультивации рекомендуется применять смесь песка, гравия и лёсса без создания на поверхности отвалов насыпных почв. Покрытие поверхности отвалов метровым почвенным слоем вначале давало лучшие результаты приживаемости и развития лесных культур, однако в дальнейшем возникала опасность их полегания в ветренную погоду. В процессе выветривания шахтная порода приобретает структуру, способствующую адсорбции влаги и хорошему развитию микрокорневой системы растений, что обеспечивает их рост.

Если же породы отвалов токсичны или содержат более 20% токсичных пород, то на них нельзя непосредственно наносить слой почвы. В случае, например, покрытия гумусированным слоем почвы сульфидсодержащих пород почвенный слой приобретает ряд отрицательных свойств: повышенную активную кислотность, увеличенное содержание подвижных форм железа и особенно алюминия, обменного водорода и пониженное содержание обменных катионов. Поступающие с капиллярной влагой растворы серной кислоты вызывают разрушение минеральной части почвы, что приводит к появлению дополнительных количеств подвижных форм алюминия и кремнекислоты. Происходящие изменения часто необратимы. Известно, что в течение 2—3 лет изменяется насыпной гумусированный слой почвы, непосредственно прилегающий к сульфидсодержащей грунтосмеси мощностью от 2—3 см до 15 см при мощности насыпного слоя от 5 до 100 см. В измененном слое величина рН понижалась от 7—6,7 до 2,3, содержание подвижного алюминия достигало 200 мг/100 г почвы. Процесс ухудшения свойств почв длителен по времени, так как сульфидсодержащая грунтосмесь является длительно действующим источником поступления серной кислоты, алюминия и железа. Захоронение сульфидсодержащей грунтосмеси даже на глубину 1 м не спасает растения от ее неблагоприятного воздействия и вызывает значительное понижение урожая по сравнению с зональными почвами.

При наличии токсичных или солёных пород целесообразно селективное отвалообразование, обеспечивающее захоронение их в основание отвалов. Токсичные грунты перекрываются слоем 0,6—1 м нетоксичной породы, которая затем планируется бульдозерами и покрывается гумусированным слоем почвы.

Токсичность сульфидсодержащих пород может быть уменьшена при применении химической мелиорации, прежде всего известкования высокими дозами извести. Исчезновение подвижных соединений железа и алюминия и повышение рН до значений, характерных для зональных почв (рН 5,3), наблюдается лишь при внесении доз извести до 6% от веса грунтосмеси. На практике такие дозы, как правило, не применимы. При

содержании токсичных грунтов >40% проводится полная химическая мелиорация. Однако она различна для разных природных районов. Для Подмосковского бассейна полная мелиорация грунтосмесей достигается внесением 2% извести от веса грунта мелиорируемого слоя. При этом рекомендуется двухкратное перемешивание извести с мелиорируемым грунтом на глубину не меньше 50—70 см. При содержании 20—40% токсичных грунтов проводится частичная мелиорация, а при содержании их меньше 20% мелиорация не проводится.

После проведения мелиорации грунты покрывают селективно вынутым гумусированным слоем или нетоксичной почвообразующей породой и поверх нее — почвенным слоем. Последний вариант более желателен, так как обеспечивает сохранение свойств гумусированного слоя и предохраняет растения от повышенных концентраций токсичных соединений.

В ФРГ применяют два способа покрытия отвалов лёссом — сухой и гидроспособ. При сухом способе лёсс доставляют автотранспортом и весь комплекс работ выполняют горнотранспортным оборудованием. Для формирования площади в 3—5 га и мощностью лёсса 1 м требуется 6—8 недель

В настоящее время широко применяется гидроспособ. Вначале планируют поверхность отвала. Гребни отвала разравнивают бульдозером. На спланированной поверхности отвалов, состоящей из хаотической смеси вскрышных пород, оконтуривают участки площадью в 3—5 га, по границам которых из лёсса сооружают насыпи высотой 1,2—1,5 м и шириной по верху 2—2,5 м. Отсыпку производят автосамосвалы. Эти участки получили название польдеров. На насыпи укладываются трубы диаметром 250 мм, по которым в польдеры подается пульпа из смеси воды и лёсса (лёсс: вода=1 : 1,5). Намыв лёсса ведется послойно. Первые 20—30 см смешивают с подстилающей породой отвала, благодаря чему после высыхания образуется водоупор и в дальнейшем вода гидронамыва не просачивается внутрь отвала, а стекает и испаряется с поверхности. Собираемая из польдеров вода по системе трубопроводов подается обратно в смесительную установку. Польдер, площадью 3—5 га и мощностью лёсса 1 м намывается в течение одной недели.

Для улучшения водно-воздушных свойств слой насыпного лёсса подвергают глубокому рыхлению (до 80 см) навесными выброрыхлителями. Намытые лёссы отличаются от насыпных большей пористостью (48 — 50%), но меньшей гумусированностью и обедненностью питательными веществами. На них рекомендуют наносить большие на 30—40% дозы удобрений.

Этап горно-технической рекультивации включает также и такие работы, как строительство подъездных путей, строительство дренажно-осушительных и водозаградительных сооружений для защиты рекультивируемых площадей от ливневых и паводковых вод, от водной и ветровой эрозии.

1.2 Практическое занятие по теме: Методы оценки дигрессии экосистем. Оценка перспектив реабилитации территории. Оценка состояния и планирование рекреационной зоны

Цель работы: приобретение навыка по рационализации рекреационного использования природной и полуприродной среды.

Задание:

1. Ознакомьтесь с теоретической частью
2. Опишите тип рекреационно – нагруженного ландшафта, согласно описанию,

предложенному преподавателем или по собственным данным. Определите степень дигрессии.

3. Какие пути по повышению его рекреационной ценности можете предложить? Конкретизируйте виды растений, пригодные для использования в данном случае. Объясните целесообразность вашего выбора.

4. Оформите отчет.

Краткая теоретическая часть

Пригородные зеленые зоны городов представляют огромную ценность для жителей урбанизированных территорий. С одной стороны, это поставщики кислорода, регуляторы микроклимата, с другой – это места отдыха горожан. Как правило, на места, обладающие высокой степенью доступности, приходится мощный пресс рекреационной нагрузки. Важно уметь дать объективную оценку состояния рекреационно – нагруженной экосистемы, сделать рекомендации по рационализации ее эксплуатации.

Задание: Работа выполняется группой студентов по 3-5 человек. Необходимо посетить одну из зеленых зон города или пригородной зоны, по предложенной схеме выполнить описание фитоценоза, дать оценку его экологического состояния, предложить рекомендации по снижению пресса рекреационной нагрузки.

Схема описания:

1. Древесный ярус - породный состав, примерная высота деревьев, равномерность распределения, сомкнутость крон, (%). Наличие или отсутствие подроста – молодых деревьев. Отметить породный состав подроста. Отметить наличие пней, рассмотреть – спилены они или возникли естественным путем. Определить захламленность валежником.

2. Кустарниковый ярус. Наличие – отсутствие. Высота, породный состав, равномерность распределения, сомкнутость крон, (%), равномерность распределения, средняя плотность по территории.

3. Травяной ярус. Густота травостоя, проективное покрытие, (от 0 до 100%), наличие незаросших мест – приуроченность каких-либо объектов к этим местам, например, тропиной сети. Высота травостоя (от... до... см). Ярусность, если имеется. Видовой состав.

4. Подстилочный слой. Толщина, состав – наличие или отсутствие полуразложившейся растительности – листьев, сучьев, веток, хвои.

5. Рассмотрите особенности антропогенного воздействия :

Отметьте общее состояние растений – запыленность, болезненность, наличие повреждений (паразитов, наростов, обломанных ветвей). Рассмотрите фитоценоз согласно градации, предложенной в таблице 2.

Наличие вытопанных или иначе используемых пространств, особенности тропиной сети. Состояние растительности на этих пространствах (густота, изменение видового состава, внешнего вида растений по сравнению с соседними или известными вам нормальными экземплярами). Наличие посторонних предметов – мусора и др. Наличие объектов планового рекреационного обустройства – бетонных дорожек, автостоянок, лавочек, торговых и развлекательных учреждений)

6. Оцените посещаемость данной территории людьми.

Согласно предложенной градации оцените степень рекреационной ценности экосистемы.

Предложите возможный вариант рекреационного использования данного участка.

Оформление отчета

Титульный лист

Физико-географический обзор территории

Описание растительного покрова осуществляется по предлагаемой выше схеме. По

каждому пункту сделать вывод (выводы).

Особо можно выделить раздел «Антропогенное воздействие», в котором отмечается значимость этого участка для местного населения.

Оцените посещаемость данной территории людьми.

Отметьте тропиночную сеть, наличие стихийно протоптанных дорожек. По какой причине, как Вам кажется, они появились? Если вы отметили объекты планового рекреационного обустройства – укажите их на карте-схеме, опишите те изменения, которые вы заметили в сообществе в связи с их функционированием. Насколько рационально с точки зрения баланса интересов местного населения и экологии решена проблема этого обустройства?

1. Сделайте выводы, касающиеся состояния растительности изучаемой территории (таблица 2), рациональности использования этой зоны обществом, внесите свои предложения по улучшению экологической ситуации, проблеме разумной эксплуатации изученной вами территории.

Таблица 1 - Оценка рекреационной ценности территории

Факторы оценки	Баллы		
	10	5	1
Состав и форма древостоя	Богатое разнообразие пород, чередование типов леса, многоярусность, вековые деревья	Некоторое разнообразие пород, два яруса, разновозрастность.	Однообразный древостой, отсутствие крупных деревьев, один ярус.
Преобладающая порода	Сосна, дуб, привлекательные экзоты	Ель, береза, бук	Осина, ольха, кустарники
Поляны и опушки	Живописные поляны и опушки с богатым травяным покровом	Наличие полян и опушки	Отсутствие полян, удаленность от опушки
Воды	Большие водные пространства рек, озер, моря для спорта и купания	Небольшие реки и водоемы, пригодные для купания	Отсутствие рек и водоемов
Рельеф	Горы с ровными урочищами, равнина с горными элементами, живописный пересеченный рельеф	Слабо пересеченный рельеф, горные склоны без ровных площадок	Плоская однообразная равнина
Проходимость	Сочетание спроектированной дорожно-тропиночной сети с условно девственными урочищами	Наличие дорожно-тропиночной сети	Труднопроходимые территории болот и кустарников без дорожной сети
Близость к городу, дому	Непосредственное примыкание	Удаление до 1 часа	Удаление более 1 часа

отдыха и т.п.			
Благоустройство	Сочетание благоустроенных территорий с условно-девственными урочищами	Сравнительно благоустроенная территория	Отсутствие благоустройства, в том числе питьевой воды
Загрязнение	Полное отсутствие физического, химического и биологического загрязнения	Некоторое загрязнение, не нарушающее комфортности отдыха	Загрязнение, нарушающее комфортность отдыха
Дефицитность лесов	Лесистость менее 10%	Лесистость 10-60%	Лесистость более 60%

Таблица 2 - Характеристика стадий рекреационной деградации лесных экосистем

Стадии дигрессии	Характеристика нарушения структуры биоценоза
1 стадия	Деятельность человека не внесла в лесное сообщество сколько-нибудь заметных изменений. Растут типичные лесные растения в живом напочвенном покрове. Развита подрост сравнительно равномерно распределена подстилка.
2 стадия	В лесу появляется редкая сеть тропинок. Среди травянистых растений стали появляться светолюбивые виды. Начала разрушаться подстилка.
3 стадия	Гуще становится тропиночная сеть. В травяном покрове появляются луговые травы (ромашка, мятлик, овсяница, тысячелистник). Появление на лесных полянках луговых трав говорит об уплотнении почвы в 3 – 4 раза. На участках, где нет тропинок, возобновление леса еще удовлетворительно (есть подрост).
4 стадия	Тропинки густо опутывают лес. В травяном покрове количество лесных растений незначительно. Лесные и даже луговые травы “прижимаются” к деревьям, а на открытых местах их заменяют самые жизнеспособные растения – подорожник, лапчатка, птичья гречишка. Это говорит об уплотнении почвы в 6 раз (уплотнение грунтовой дороги). Молодого подраста (до 6 – 7 лет) – практически нет. Подстилка встречается лишь у стволов деревьев.
5 стадия	Характерно полное отсутствие подраста. На плотно вытопанной земле встречаются лишь отдельные экземпляры наиболее жизнестойких растений.

2 Раздел дисциплины: Восстановление водных экосистем

2.1 Практическое занятие по теме: Гидротехнические аспекты рекультивации..

Планирование рекультивационных мероприятий в зоне карьерных разработок.

Цель работы: получение теоретического навыка рекультивации зон карьерных разработок для водных объектов.

Задание:

5. Ознакомьтесь с теоретической частью
6. Опишите тип техногенно измененного ландшафта, согласно перечня, предложенного в лекционном материале. Какие пути по его рекультивации Вы можете предложить?
7. Рассмотрите предложенные схемы оформления, нарисуйте
8. Объясните смысл использованных элементов технологии. Предложите материалы, конкретизируйте виды растений, пригодные для использования в данном случае. Объясните целесообразность вашего выбора.
9. Оформите отчет

Краткая теоретическая часть

Созданию архитектурно-ландшафтных комплексов уделяют в настоящее время много внимания. В искусственные озера, созданные в отработанных карьерах, запущены мальки карпа, линя, форели. Озера используют колонии птиц. Для уменьшения запыленности воздуха, предотвращения эрозии и с эстетическими целями большое внимание уделяется оформлению бортов отработанных карьеров. Выработаны оптимальные морфометрические параметры откосов в зависимости от функционального назначения участков береговой линии, высоты надводной части борта карьера, состава слагающих его пород и уровня воды в озере.

На рисунках 1, 2 показаны схемы оформления откосов.

Если борт карьера сложен рыхлыми, мягкими горными породами (песчано-гравийные отложения, суглинки и т. д.), то по высоте он делится бермами на отдельные уступы. Ширина берм принимается не менее 1,5 м с обратным уклоном 1 : 10. Нижняя берма устраивается на высоте 1,5 м от зеркала воды, а вторая — на высоте 5—7 м. Заложение откосов уступов (кроме нижнего) принимают равным 1 : 2. Вдоль верхней бровки борта карьера сооружают нагорную канаву или вал, защищающий откос от поверхностного стока атмосферных вод и водной эрозии. Надводная часть нижнего уступа переходит в подводную и выполаживается с уклоном 1 : 4 при ширине по горизонтали не менее 10 м. Затем до глубины водоема, равной 2 м, подводная часть откоса имеет заложение 1 : 2, а далее — 1:1.

Берма – горизонтальная площадка на откосе плотины, ж-д насыпи, канала, придающая откосу большую устойчивость и защищающая его от размыва атмосферными осадками.

По профилю откоса выделяется несколько зон: нереста рыб, зарослей тростника (подводные части откоса), лесопосадки мягколиственных и твердолиственных пород, опушки которых засаживаются кустарником. При незначительной (до 3—5 м) высоте надводной части борта карьера откос оформляется аналогично описанной выше схеме, но зоны мягколиственных и твердолиственных лесных культур объединяются в одну, а вдоль верхней бровки карьера не сооружаются нагорные канавы или валы. Для сооружения пляжа (если береговая полоса водоема предназначена для купания) подводная часть откоса планируется с уклоном 1 : 10 до глубины водоема 1 м, затем до глубины 2 м откос имеет заложение 1 : 4 и далее — не круче 1 : 1. Надводная часть откоса в пляжной зоне на расстояние не менее 10 м

по горизонтали также планируют с уклоном 1 : 10. Далее заложение откоса принимается 1 : 5, и откос в этой зоне залужается.

При использовании крупноплощадных карьеров с бортами, сложенными из рыхлых пород, для сельскохозяйственных или других целей на откосах также создаются сплошные лесопосадки. Схема оформления откоса аналогична описанным выше (рис. 5). Если борт карьера сложен скальными или полускальными породами, угол откоса отдельных уступов принимается значительно круче, но не более 60° (рис. 5).

Весь борт карьера делится бермами на уступы высотой до 12 м. Ширина берм (площадок) — не менее 2 м. Для озеленения на бермы насыпают слой почвы или горных пород (пригодных для биологической рекультивации), которыми засыпается и дно карьера, если он не предназначен для обводнения. Застройка отвалов производится после их усадки (спустя не менее 10 лет после отсыпки), в основном одно- или двухэтажными зданиями.

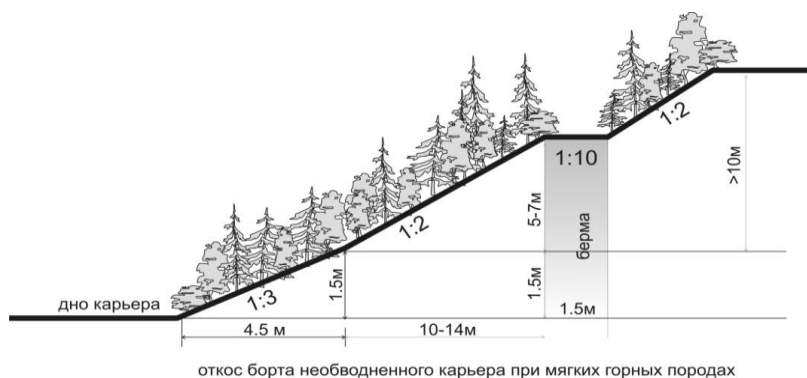


Рисунок 1. Рекультивация откоса борта необводненного карьера при мягких горных породах

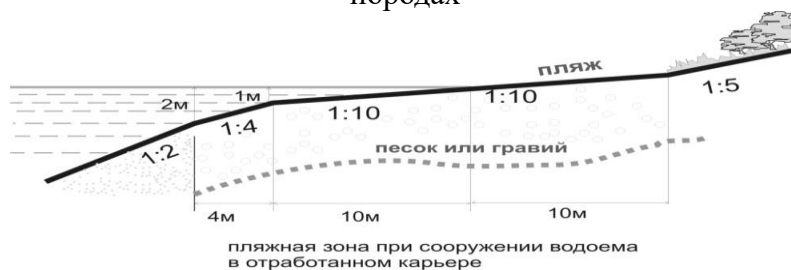


Рисунок 2. Рекультивация борта обводненного карьера

3. Раздел дисциплины: Биологические методы рекультивации

3.1 Практическое занятие по теме: Особенности рекультивации территорий разных климатических зон и различного назначения использования

В нашей стране и за рубежом уже накоплен опыт по успешной культивации нарушенных горными разработками территорий умеренного пояса.

В лесной, лесостепной и степной зонах, особенно если вскрышные породы нетоксичны и потенциально плодородны, с успехом идет облесение и задернение отвалов, создание новых, но экологически устойчивых ландшафтов.

Меньший опыт накоплен по рекультивации техногенных ландшафтов Крайнего Севера. Этот опыт особенно труден потому, что *природные условия не способствуют быстротеchnости естественного возобновления* растительного покрова — оно может длиться десятки и сотни лет. Одновременно остро стоит вопрос о *стабилизации мерзлотных процессов*, что существенно для нормальной эксплуатации и сохранности сооружений. Для этого необходимо проводить теплораспределительные наблюдения на ключевых участках опытно-экспериментальных работ. Рекультивация особенно необходима в районах, где развиваются эрозионно-термокарстовые процессы. Для предотвращения термокарста перспективно применение полимерной пены с высокими теплоизоляционными прочностными свойствами. Эта область знаний в практической деятельности еще слабо разработана.

Для ослабления эрозионных процессов необходимо создание дернины. На севере Западной Сибири еще в 1973г. заложены опыты с посевом травосмесей из овсяницы, мятлика и волоснеца на предварительно нанесенном 10 - сантиметровом слое почвы. Возможно для предотвращения эрозии и термоэрозии на ровных слабонаклонных поверхностях с минеральным грунтом использовать *рыхлокустовые и плотнокустовые злаки*: мятлик луговой, *лисохвост луговой, овсяницу овечью*. Для закрепления органогенных субстратов пригодны *морозника, княженика, костяника* — растения, хорошо возобновляющиеся.

На Урале применяются террасирование склонов, предварительный посев травосмеси (злаков и бобовых) с внесением торфа или перегноя, посадка акации кустарниковой, вяза обыкновенного, ивы козьей.

В качестве лесобразующих пород рекомендуется использовать сосну и лиственницу, а в районах с близким расположением промышленных предприятий — березу. Сельскохозяйственная рекультивация здесь имеет вспомогательное значение в связи с высоким расположением отвалов, сформированных в основном из скальных пород и отсутствием во вскрышке плодородного слоя.

В Грузии на марганцевых отвалах на нетоксичных породах в условиях благоприятного климата и искусственного орошения успешно выращивают каштан, грушу, яблоню, виноград.

На отвалах бурого угля Кировоградской области произведены посадки дуба, березы, сосны, тополя, белой акации. В Подмосковном угольном бассейне наиболее устойчивыми породами оказались береза и сосна.

В ФРГ наряду с площадями для сельскохозяйственной и лесной рекультивации выделяют «экстремальные» площади с неблагоприятными для почвообразования горными породами или субстратами. На таких площадях планируется лишь защита их от эрозии и

повышение эстетичности специальными *методами возделывания «газонных трав»*. Специалистами Гессенского университета разработан метод озеленения крутых склонов и сыпучих песков без предварительного покрытия их почвой.

Для улучшения свойств верхнего слоя отвалов, для накопления в нем органического вещества и азота перед посадкой деревьев высевают *люпин* с последующей его заправкой.

В южных районах эффективны *донник и люцерна*, которая дает глубокую корневую систему и за 3—4 года способствует накоплению в корнеобитаемом слое органического вещества и азота. На Украине на отвалах разного типа под многолетними травами - сидератами (сидерация – агротехнический прием, при котором для повышения урожайности сельхоз культур в почву запахивают зеленую массу посеянных для этого растений) наблюдали многократное возрастание ферментативной активности и плодородия почвы.

Почвообразование в техногенных ландшафтах

В процессе рекультивации происходит формирование почвенного покрова, который на первых этапах отличается от зонального, даже если на отвалах создан насыпной гумусированный слой. В том же случае, если биологическая рекультивация проходит на нетоксичных вскрышных породах, начинается первичный почвообразовательный процесс и формирование свойств почв. Эти процессы прослежены на разновозрастных отвалах лёссовидных суглинков, глин, мела и песков Курской области, т. е. области распространения типичных мощных черноземов, лучших почв мира. Породы, взятые из карьера, — биологически инертны. В 10-летних отвалах суглинка обнаруживается в июле до 8100 тыс/г микроорганизмов, глин — 5400 тыс/г, мела — 540 тыс/г, песков — 820 тыс/г. В 3—10-летних отвалах появляются нитраты. На 8-летних отвалах насчитывается до 40 видов растений с общей биомассой до 80 ц/га.

Существует метод оценки степени рекультивации почвы на самозарастающих отвалах с помощью числа укоренившихся на ней видов растений: менее 5 видов — плохая, 5—10 — средняя, но нуждающаяся в удобрениях, 10—15 — хорошая, но требующая контроля, 15—20 — полная рекультивация. По этой классификации отвалы Курской области, сложенные с поверхности лёссовидными суглинками, можно считать полностью рекультивируемыми.

Вмешательство человека в естественный процесс восстановления растительности и почв, внесение минеральных удобрений позволили получить зеленую массу бобовых трав до 180 ц/га, а после ее заправки урожай озимой ржи в 24 ц/га, в 2—3 раза больше по сравнению с таковым до внесения удобрений.

В окружении высокопродуктивных природных и культурных биогеоценозов регенерация уничтоженных фитоценозов и почв на техногенных ландшафтах идет более быстрыми темпами. Молодые почвы техногенных ландшафтов на лёссовых породах Украины на ранних стадиях развития, как и многие другие, формируются элементарными почвенными процессами в основном транспортного характера. Они быстро накапливают признаки и свойства, свидетельствующие о зональном направлении общего процесса почвообразования, сохраняя при этом заметные отличия в морфологии.

На отвалах угольных разрезов Сибири естественно возникающие фитоценозы имеют низкую продуктивность и процесс почвообразования протекает медленно. Процесс формирования почвенного профиля на отвалах Подмосковского бассейна наблюдали сотрудники Лаборатории охраны природы МСХ РСФСР. В течение 4—5 лет под многолетними травами происходила дифференциация почвенного профиля с выделением 10-сантиметрового гумусированного горизонта с высоким содержанием гуминовых кислот. Под многолетними травами на отвалах через 8 лет фиксировали перегнойный горизонт

мощностью 3—4 см с содержанием гумуса 4% и переходный горизонт 6—7 см с содержанием гумуса 1,5%. В формировании перегнойно-аккумулятивного горизонта под многолетними травами активное участие принимают микроорганизмы, среди них возрастает роль участвующих в превращениях соединений углерода и азота. Вполне правомерно предполагать, что на породах отвалов почвообразование будет развиваться по зональному типу. Работы по рекультивации земель требуют больших капиталовложений. Затраты на рекультивацию одного гектара могут колебаться от нескольких сотен рублей до десятков тысяч. В ФРГ затраты на рекультивацию 1 га земли, используемых под лесные посадки, составляет 6—7 тыс. западногерманских марок, а для использования в сельском хозяйстве — от 12,5 тыс. до 43 тыс. западногерманских марок. В Болгарии рекультивация 1 га земли без нанесения слоя почвы обходится в 350 левов, а с нанесением почвенного слоя — более 9000 левов.

3.2. Технологии рекультивации территорий, измененных деятельностью отдельных отраслей промышленности

В настоящее время разработаны приемы рекультивации терриконов, золоотвалов и шламов и найдены пути утилизации этих отходов на дорожное строительство и стройматериалы.

Работы по **дорожному строительству** должны быть усовершенствованы, прежде всего, на стадии их проектирования. Направление автомагистралей целесообразно проектировать с учетом существующих дорог, не отчуждая дополнительных площадей сельскохозяйственных угодий. Проектирование и строительство автомагистралей должно быть согласовано с направлением существующих и планируемых железных дорог и интересами сельского хозяйства.

Рекультивация отвалов должна проводиться одновременно с добычей полезных ископаемых. Этапы и методы рекультивации отвалов те же, что и при открытой разработке полезных ископаемых.

Представляет интерес порядок формирования отвалов и подходы к лесной рекультивации в Рурском каменноугольном бассейне. Здесь при добыче угля стали создавать крупноплощадные многоярусные отвалы (высотой до 60 м), обслуживающие группу шахт. Порода от шахт в отвал транспортируется автосамосвалами. Применяемый порядок формирования отвалов от периферии к центру позволяет с начальной стадии отсыпки отвалов производить их рекультивацию.

По всему периметру площади, предназначенной для отвала шахтных пород, сооружается насыпь высотой 8—10 м, равная высоте яруса отвала. Внешний откос насыпи является одновременно и окончательным откосом будущего отвала. Затем с насыпи производится отвалообразование к центру. Когда вся площадь, околтуренная насыпью, будет заполнена шахтной породой, сооружают такую же насыпь для второго яруса. Между верхней бровкой первого яруса и нижней бровкой второго яруса оставляют уступ шириной до 4 м. Внешний край уступа приподнят, уклон в сторону отвала — 1:10. Такой порядок отсыпки продолжается до проектных отметок отвала. Окончательно сформированные отвалы имеют 5—6 террас, откосы между ними имеют крутизну от 1 : 2 до 1:3. Такой способ отвалов препятствует их самовозгоранию, так как укладка термически активных горных

пород в центральной части отвала и применение большегрузных автосамосвалов хорошо уплотняют шахтную породу в процессе отвалообразования. Для сбора и отвода фильтрационных вод, поскольку они могут содержать токсичные вещества, у подножья шахтных отвалов по периметру сооружают водоулавливающие и отводящие каналы.

Наружный откос отсыпают из пригодной для рекультивации мелкой шахтной породы, получаемой после обогащения угля на мойках. Эта порода содержит мало фитотоксичных компонентов и легко разлагается в результате атмосферного воздействия. Поэтому спустя два года после отсыпки откосы отвалов озеленяют. Как предварительную культуру используют люпин. Затем применяют посадку двухгодичных саженцев непосредственно в отвальную породу. Доминируют смешанные лесопосадки, состоящие из 2/3 ольхи черной и 1/3 ольхи серой с небольшим участием клена и тополя, рябины, облепихи и других пород кустарников и деревьев.

В нашей стране складывают породы в плоские отвалы. Такой способ дает возможность проводить профилактику самовозгорания и позволяет осуществлять рекультивацию откосов в процессе отвалообразования. Одновременно ведется работа с террикониками. После их тушения и террасирования склонов, проводят посеvy трав, высаживают кустарники и деревья. Иногда целесообразно использовать территорию ликвидированных шахт с зонами просадок поверхности под городскую свалку мусора. Свалка площадью 150 га с приемной способностью 1 млн. т мусора в год может иметь срок службы 20—25 лет. Отсыпка мусора ведется аналогично отсыпке шахтных отвалов от периферии к центру. Мусор складывается слоями. Для укладки мусора применяют специальные бульдозеры на колесном ходу. Колеса бульдозеров снабжены шинами, которые одновременно дробят и укатывают мусор. Торцы отсыпанного за сутки двухметрового слоя мусора в санитарно-гигиенических целях перекрывается метровым слоем почвы. Плотная укладка мусора и перекрытия торцов почвой создают благоприятные условия для процессов разложения мусора, накопления органического вещества и озеленения окончательно сформированных откосов и уступов.

Рекультивация золоотвалов и шламов

Рекультивация отвалов золы электростанций, шламовых полей металлургических предприятий прежде всего необходима с санитарно-гигиенической точки зрения. Водная и ветровая эрозии этих отложений приводят к загрязнению близлежащих почв, вод и воздуха. Главная задача при рекультивации этих промышленных выбросов — консервация их и озеленение.

Самозарастание отвалов идет крайне медленно, что связано с ограниченностью азота и неустойчивостью водного режима. Опыты показали, что достаточно покрыть поверхность золоотвалов 2—3-сантиметровым слоем почвы или потенциально плодородного грунта, чтобы могли произрастать травянистые растения, продуцирующие от 8 до 50 ц сена с 1 га. Отобрано около 30 видов травянистых растений, лучшими из которых можно считать *люцерну желтую*, *донник белый*, *эспарцет песчаный*, *костер безостый*, *ежу сборную*, *луговую* и *красную овсянницу*.

При посадке в ямы, заполненные почвой, приживались 3—4-летние саженцы *березы бородавчатой*, *клена ясенелистного*, *караганы желтой* (в засушливых условиях), *осины* и *разных видов ив* (в более увлажненных условиях).

В Чехии, Словакии, Болгарии на золоотвалы наносят плодородный слой мощностью от 10 до 50 см, вносят высокие дозы удобрений и получают урожаи сельскохозяйственных культур (от 20 до 40 ц/га пшеницы).

Шламовые поля обогатительных фабрик и металлургических предприятий из-за содержания токсичных соединений покрывают более мощным плодородным слоем, чем золоотвалы. Причем предварительно используют разнообразные методы для закрепления их поверхности. В США применяется мульчирование соломой, древесной стружкой, закрепление искусственными структурообразователями, синтетическими смолами и др. В нашей стране применяют разнообразные химические способы укрепления грунтов - битумизация, силикатизация, цементация. Активно используются полимерные материалы, лигносульфонаты, жидкое стекло с хлористым кальцием, латексы и др. *Реагенты, используемые для закрепления пылящей и развеваемой поверхности должны обладать способностью образовывать на поверхности устойчивую сплошную пленку, не содержать токсичные компоненты, обладать водопроницаемостью, содействовать последующей биологической рекультивации.* Если речь идет о шламах, имеющих перспективное сырьевое значение, то закрепители не должны в будущем препятствовать их переработке. Закрепители должны быть доступны и дешевы и выпускаться в промышленных масштабах.

В частности, на производственном объединении «Апатит» успешно были использованы для закрепления нефелиновых песков хвостохранилищ жидкое стекло с хлористым кальцием, поликомплексы, латекс СКС 65-ГП. Применение латекса также дает положительные результаты по предотвращению выдувания семян при биологической рекультивации.

Рекультивация выработанных торфяников

Опыт рекультивации выработанных торфяников накоплен в ряде регионов. Возможность использования выработанных торфяников зависит от типа выработки, мощности слоя оставленного торфа и его качества, водного режима, возраста выработки, степени задернения и т. д.

Основные объекты лесохозяйственного освоения — поля фрезерной добычи торфа, невыработанные окраины болот, реже — площади разлива гидроторфа. Относительно выровненная поверхность позволяет вести обработку почвы.

В зависимости от уровня грунтовых вод фрезерные поля делят на низкие, средние и высокие. Поля низкого, среднего и высокого уровней при мощности торфа до 30 см, а также невыработанные окраины могут быть облесены. На низких полях подготовка почвы проводится созданием микроповышенной в форме напашных свальных двухпластовых валов.

На средних и высоких полях и невыработанных окраинах лучшие результаты дает глубокая сплошная вспашка с последующим дискованием дернины и глыбистого торфа.

Создание лесных культур начинают в первые 2—3 года после прекращения добычи торфа. Основной способ — весенняя посадка стандартных сеянцев. В Белоруссии лучший посадочный материал — однолетние сеянцы сосны, 2—3-летние ели, 1—2-летние березы и укорененные стеблевые черенки тополя.

В Финляндии опыт применения смешанных сосново-ольховых насаждений показал значительные преимущества по сравнению с чистыми сосновыми насаждениями. Высота смешанных насаждений была в 4 раза больше, а гибель в 6—8 раз меньше по сравнению с чистыми сосновыми культурами.

Низкие поля с сапропелевым плодородным торфом можно рекомендовать под сенокосы, а невыработанные окраины — под полевые культуры.

Западины и карьеры, затопляемые водой, оставляют как искусственные водоемы, уголья для болотной и водоплавающей дичи, для рыбоводства и рыбной ловли.

Торфяники низинного типа на Украине осваивают сразу под пропашные культуры, благодаря которым азот и фосфорсодержащие соединения быстрее минерализуются, делая доступными важные питательные компоненты.

На торфяных выработках получают до 150 ц/га картофеля, до 90 ц/га капусты, до 170 ц/га огурцов, до 85 ц/га сена клевера. Затраты на рекультивацию окупаются в 2—3 года.

Рекультивация дражных полигонов

Специалисты Магаданской области достигли успехов в разработке методов рекультивации земель, нарушенных при разработке россыпных месторождений. Проведенные ими гидрологические и теплофизические исследования позволили обратить внимание на возможность использования *чозении* (один из видов ивы) для рекультивации дражных полигонов. Она успешно произрастает на техногенных образованиях, мощность слоя сезонного протаивания которого не превышает 2 м. Геофизический метод позволил исследователям разработать различные способы биологической рекультивации.

На спланированный дражный полигон, состоящий преимущественно из крупнофракционного отработанного материала наносят 20-сантиметровый слой вскрышных пород (аллювий), а сверху с подготовливаемого полигона 20—30-сантиметровый слой почвы. При внесении 120 т/га органических удобрений, минеральных удобрений в дозе М240Р240К280 и 10 т/га извести получают урожай зеленой массы овса 196 ц/га. В резкоконтинентальных условиях Магаданской области в условиях вечной мерзлоты на рекультивированных территориях получают урожаи картофеля, капусты, многолетних трав и других кормовых культур.

4. Раздел дисциплины: Восстановление лесных территорий

4.1 Подготовительные работы перед лесопосадками. Подбор культур. Оценка эффективности приживаемости. Эстетические аспекты результатов рекультивации. Учет естественной сукцессии экосистем

Опыт может быть рекомендован для большинства районов Нечерноземной зоны. Выровненные отвалы открытых разработок засаживаются лесными породами. Следует отметить, что культура этих работ так высока, что в Эстонии, например, выращивают насаждения на два бонитета выше, чем те, что произрастали здесь до начала разработок. Рекультивация оправдывает себя и с хозяйственной точки зрения, так как затраты на техническую и биологическую рекультивацию покрываются стоимостью 20-летнего сосняка по действующим таксовым ценам. При лесной рекультивации на первых этапах используют быстрорастущие породы: тополя и ивы.

Опыт создания лесонасаждений на отвалах в США обобщил Лимстром. По его мнению, для лесонасаждений пригодны большинство пород, кроме пород с пиритом и плотных надугольных глин, пород, обогащенных легкорастворимыми солями. Считается, что приживаемость и рост лесных пород зависят, главным образом от механического состава породы и ее рН. Оптимальное значение рН: 4,5—6 — для хвойных пород и 6—7,5 — для лиственных. По механическому составу Лимстром располагает породы в следующий убывающий по плодородию ряд: суглинки>глины>пески.

Опыт облесения отвалов показывает, что посев древесных пород семенами не пригоден. Семена поедают грызуны, проростки усыхают. Наиболее рационально проводить посадку лиственных пород однолетними саженцами, а хвойных пород — двухлетними. Подбор видов пород проводится экспериментально. Определение, насколько данный вид пригоден для осваиваемой территории, проводят по оценке приживаемости и быстрого роста. Приживаемость больше 60% — удовлетворительная, 40—60% — достаточная, меньше 40 — неудовлетворительная. Подбирать породы для посадок рекомендовано из местных видов.

Используемые породы делят на три группы:

1. Породы мелиоративного, подготовительного характера, такие как *белая акация, серая ольха*. Они быстро укореняются на отвалах, в короткое время дают густое покрытие, накапливают азот в почве. В меньшей степени этими свойствами обладают *акация желтая, черемуха, осина, рябина, ивы,*

жимолость и др.

2. Породы подготовительного и частично хозяйственного значения, такие как *ольха черная, береза, дикая яблоня, дикая груша, клен полевой, липа*. Это более требовательные породы. Часть из них в первые годы может расти лишь под защитным действием пород — воспитателей первой группы.

3. Породы хозяйственного назначения, такие как *тополя, дуб летний, дуб зимний, дуб красный, ясень, ильм, клен, лиственница, сосна*.

Породы обычно подбирают с учетом климатических условий. Но при освоении отвалов принимают во внимание также их высоту и экспозицию склонов. Верхние уровни отвалов рекомендуют под хвойные породы, а ниже 4,5 м — под лиственные. На южных и

западных склонах лучше растут сосна и акация, а на северных и восточных — тополь, ясень, клен.

Сведения о некоторых древесных породах носят противоречивый характер. Так, в одних случаях тополь относят к породам подготовительного характера, в других — считают его породой хозяйственного назначения, т. е. относят к третьей группе пород. Противоречивы и сведения о сосне. С одной стороны, считают сосну легкоприживающейся породой хозяйственного назначения, а с другой стороны, и отечественный и зарубежный опыт местами показывает, что ее следует считать бесперспективной породой, так как часто к 15—20 годам сосна погибает. Следовательно, для каждого региона требуются поисковые исследования с испытанием широкого спектра, прежде всего, местных пород деревьев. На рекультивируемых территориях ежегодно высаживаются миллионы саженцев более 50 древесных и более 20 кустарниковых пород. Чешские ученые подчеркивают важность хорошего состояния посадочного материала и придают большое значение микоризе, которая увеличивает приживаемость и устойчивость пород.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основы коррекции экологических ситуаций в трех средах: учебное пособие. Томск:Томский госуниверситет систем управления и радиоэлектроники,2007. 154с.
2. Образовательный стандарт вуза ОС ТУСУР 01-2021. Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля. Общие требования и правила оформления от 25.11.2021. – URL: <https://regulations.tusur.ru/documents/70> (дата обращения 19.02.2022). – Режим доступа: свободный.