

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»

На правах рукописи

Семина Ирина Сергеевна

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РЕСУРСОВ
ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ЗЕМЕЛЬ, НАРУШЕННЫХ
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО
ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ УГЛЯ
(НА ПРИМЕРЕ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ – КУЗБАССА)**

Специальность 1.6.21 – «Геоэкология»

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный
консультант:

Доктор биологических наук,
главный научный сотрудник, директор
Института почвоведения и агрохимии СО РАН
Андроханов Владимир Алексеевич

Новокузнецк – 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	6
ВВЕДЕНИЕ	10
Глава 1 Современное состояние существующих технологий рекультивации нарушенных земель	20
1.1 Природные ресурсы и их рациональное использование для рекультивации земель.....	20
1.2 Анализ современного состояния технологий рекультивации нарушенных земель	31
1.2.1 Эффективность биологической рекультивации нарушенных земель	37
1.2.2 Самовосстановление техногенно нарушенных территорий.....	51
1.2.3 Эффективность использования отходов производства для рекультивации земель.....	53
Глава 2 Методология, методы и объекты исследований	61
2.1 Методология и методы исследований	61
2.2 Объекты исследования	65
Глава 3 Исследования природных (климатических и биологических (растительность)) ресурсов и оценка их значимости в восстановлении растительного и почвенного покрова на техногенно нарушенных территориях в разных природно-климатических подзонах Кузбасса.....	74
3.1 Оценка климатических и биологических (растительность) ресурсов в горно-таежной подзоне Кузбасса	74
3.2 Оценка климатических и биологических (растительность) ресурсов в лесостепной подзоне Кузбасса	82
Вывод по главе 3	86
Глава 4 Комплексная почвенно-экологическая оценка литогенных, техногенных ресурсов (минералогические, физико-химические, агрохимические, биологические исследования) и установление критериев пригодности основных вскрышных и вмещающих пород горно-таежной	

подзоны Кузбасса для рекультивации земель и благоприятного функционирования фитоценозов и искусственных почв (техноземов).....	89
4.1 Характеристика почвенного покрова в горно-таежной и лесостепной подзонах Кузбасса.....	89
4.2 Геологическое строение месторождения и комплексная оценка литогенных, техногенных ресурсов и установление критериев пригодности основных вскрышных и вмещающих пород горно-таежной подзоны Кузбасса для рекультивации земель и благоприятного функционирования фитоценозов и искусственных почв (техноземов).....	97
4.3 Комплексная оценка техногенных ресурсов (отходов углеобогащения) для рекультивации земель.....	117
Выводы по главе 4	123
Глава 5 Экспериментальные исследования внедрения технологии рекультивации земель в процессе ведения горных работ (селективного отвалообразования) для повышения экологической эффективности восстановления растительного и почвенного покрова на участках рекультивации (на примере филиала АО «УК» «Кузбассразрезуголь» «Калтанский угольный разрез»).	130
5.1 Оценка почвенно-экологической эффективности рекультивации земель после внедрения технологии рекультивации в процессе ведения горных работ (селективного отвалообразования)	130
Выводы по главе 5	146
Глава 6 Создание экологического полигона и проведение апробации технологий рекультивации в условиях дефицита литогенных ресурсов (плодородного слоя почвы и потенциально плодородных пород – покровных суглинков) для биологической рекультивации земель (на примере АО «Разрез Распадский»).....	148
6.1 Состав молодых почв, сформированных по разным технологиям рекультивации земель, их физические и агрохимические свойства	150

6.2 Влияние технологии рекультивации на гидротермический режим техноземов и эмбриоземов на участках рекультивации	197
6.3 Оценка развития растительного покрова на участках рекультивации	213
6.3.1 Геоботанические описания и продуктивность растительного покрова.....	213
6.3.2 Анализ состояния растительного покрова на экспериментальных участках экологического полигона	238
6.3.3 Количественное определение объемов поглощения парниковых газов на экспериментальных площадках экологического полигона.....	247
6.4 Почвенно-экологическое состояние участков рекультивации.....	260
6.5 Изучение эффективности использования техногенных ресурсов (окисленные угли, золошлаковые материалы) для рекультивации земель...	286
Выводы по главе 6	291
Глава 7 Экспериментальные исследования технологии рекультивации с использованием техногенных ресурсов (отходов углеобогащения) и оценка их влияния на развитие растительного и почвенного покрова.....	298
7.1 Состав молодых почв, сформированных на отходах углеобогащения и их морфологическая диагностика	298
7.2 Содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в почвах, сформированных на отходах углеобогащения.....	305
7.3 Геохимическая характеристика почв на рекультивированных участках.....	313
7.4 Сопряженный анализ результатов почвенно-экологических, геоботанических исследований и оценка потенциала отходов углеобогащения для использования в рекультивации нарушенных земель	326
7.5 Влияние технологий на гидротермический режим молодых почв на участках рекультивации	335
7.6 Оценка современного уровня восстановления биогеоценозов на участков рекультивации с использованием отходов углеобогащения	345

Выводы по главе 7	369
Глава 8 Разработка научно-технологических основ рационального использования природных и техногенных ресурсов для реализации экологически эффективных технологий рекультивации земель в экономике замкнутого цикла предприятий	377
8.1 Научно-технологические основы рационального использования литогенных ресурсов для рекультивации нарушенных земель.....	377
8.2 Геоэкологические рекомендации по предпроектному анализу и оценке природных ресурсов для рекультивации земель в экономике замкнутого цикла на предприятиях по добыче угля	388
8.3 Экономические затраты при использовании собственных литогенных ресурсов предприятия для рекультивации земель.....	402
8.4 Рациональное использование техногенных ресурсов (отходов углеобогащения) для размещения в выработанном пространстве карьеров с последующей рекультивацией нарушенных земель	406
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	418
Приложение А Разновидности вскрышных пород по основным агрохимическим и физико-химическим показателям для горно-таежной подзоны Кузбасса.....	456
Приложение Б Фракционный состав крупнозема и гранулометрический состав почв на мониторинговых площадках в 2023 году	462
Приложение В Информация о внедрении результатов работы на предприятиях	467

ПЕРЕЧЕНЬ ОБОЗНАЧЕНИЙ

Определение почв техногенных ландшафтов в соответствии с профильно-генетической классификацией:

В схеме профильно-генетической классификации почв техногенных ландшафтов выделяются несколько классов: элювиоземы литогенно-неразвитые, эмбриоземы биогенно-неразвитые и техноземы. Тип почв в соответствии с профильно-генетической классификацией определяется по морфологическим признакам, а именно по определенному типодиагностическому горизонту и отражает развитие органно-аккумулятивного, дернового и гумусово-аккумулятивного почвообразовательных процессов в почвах.

Техноземы – это новые, искусственно созданные техногенные почвы, где корнеобитаемый слой сформирован из разных материалов на поверхности техногенных ландшафтов.

В техноземах выделяются разные типы молодых почв, они обусловлены вещественным составом корнеобитаемого слоя:

техноземы гумусогенные (ТГ) – корнеобитаемый слой сложен из плодородного слоя почвы;

техноземы органогенные (ТО) – корнеобитаемый слой сложен из органического материала (торфа), осадков сточных вод и других материалов;

техноземы литогенные (ТЛ) – корнеобитаемый слой сформирован из потенциально плодородной породы (покровные суглинки);

техноземы модифицированные (ТМ) – корнеобитаемый слой сложен из техногенного материала с применением мелиорантов и почвоулучшителей.

Эмбриоземы биогенно неразвитые различаются по морфологическим признакам и происхождению биогенных горизонтов: для эмбриоземов инициальных (ЭИ) характерно отсутствие макроморфологических признаков дифференциации почвенного профиля на горизонты; в эмбриоземах органо-аккумулятивных (ЭОА) всегда диагностируется горизонт подстилки (травянистого и/или древесного происхождения); в эмбриоземах дерновых

(ЭД) всегда имеется дерновый горизонт, а в гумусово-аккумулятивных (ЭГА) – гумусово-аккумулятивный горизонт.

Расчетные показатели почвенно-экологического состояния (ПЭС) участков:

B_n – балл бонитета фоновой почвы, составляет 100;

K_c – коэффициент специфичности свойств исследуемых почв по отношению к свойствам зональной ненарушенной, доли ед.;

$K_{ф.г.п.тл.}$ – содержание физической глины в почвах техногенных ландшафтов (техноземов и эмбриоземов);

$K_{ф.г.эталон}$ – содержание физической глины в естественной почве, принятой за эталон.

Коэффициент специфичности по плотности сложения рассчитывается по формуле 3:

$\Pi_{с.эталон}$ – плотность сложения естественной почвы, принятая за эталон;

$\Pi_{с.п.тл.}$ – плотность сложения почв техногенных ландшафтов (техноземов и эмбриоземов);

$\Gamma_{ум.п.тл.}$ – содержание гумуса в почвах техногенных ландшафтов (техноземов и эмбриоземов);

$\Gamma_{ум.эталон}$ – содержание гумуса в естественной почве, принятой за эталон.

Расчетные показатели почвенно-гидрологических констант для определения состояния почвенной влаги, её передвижения по почвенному профилю, доступность для растений:

Максимальная гигроскопичность (МГ) – это характеристика влажности почвы, которая показывает её способность поглощать из атмосферного воздуха максимальное количество парообразной воды при относительной влажности воздуха около 98 %.

Влажность завядания (ВЗ) растений – это нижний предел доступной влажности почвы для жизнедеятельности растений, при котором влага в почве

для растений становится недоступной и происходит устойчивое завядание растений, влажность завядания ($BЗ$) = 1,43.

Гидрологическая константа разрыва *влажности капиллярной связи* (BPK) характеризует подвижность влаги в почве, при снижении влажности почвы данная величина существенно снижается.

Величина наименьшей влагоемкости ($HВ$) почв, при которой почва может удержать наибольшее количество почвенной влаги при максимальном насыщении её водой, например, после сильного дождя или обильного полива и стеканий влаги по почвенному профилю.

Расчетные показатели сравнения флористических списков по каждому году исследований на экспериментальных участках экологического полигона:

c – число видов общих для двух попарно сравниваемых площадок;

a, b – числа видов на площадках.

Расчетные показатели количественного определения объемов поглощения парниковых газов на экспериментальных площадках экологического полигона:

$C_{\text{биомасса}}$ – углерод в биомассе древостоя, кг абсолютно сухого веса;

0,5 – коэффициент пересчета биомассы в углеродные единицы;

d_i – диаметр ствола i на высоте 1,3 м, см;

h_i – высота дерева i , м;

a и b – коэффициенты аллометрического уравнения для разных фракций и древесных пород;

$C_{\text{надз.биомасса}}$ – количество углерода в надземной биомассе подроста/подлеска, кг;

0,5 – коэффициент пересчета биомассы в углеродные единицы;

h_i – высота стволов подроста деревьев/кустарников, м;

a и b – коэффициенты аллометрического уравнения для надземной биомассы;

$C_{\text{биомасса}}$ – запас углерода в пуле биомассы на рекультивированных землях, т С га⁻¹;

$C_{\text{надз.биомасса}}$ – запас углерода в надземной биомассе, т С га⁻¹;

$C_{\text{подз.биомасса}}$ – запас углерода в подземной биомассе, т С га⁻¹;

Вес – средний вес отобранных образцов травянистой биомассы с площади 50 × 50 см, г;

0,04 и 10 – коэффициенты для перевода в единицы запаса тонн на гектар, не имеет размерности;

0,5 и 0,45 – коэффициенты для перевода в единицы углерода массу надземной части биомассы и корней, не имеет размерности;

20 – пересчетный коэффициент, не имеет размерности;

a и b – пересчетные коэффициенты: при значении $C_{\text{надз.биомасса}}$ более 1,75 т С га⁻¹ значения a и b принимаются равными 1 и 15 соответственно; при значении $C_{\text{надз.биомасса}}$ менее 1,75 т С га⁻¹ значения a и b принимаются равными 0,8 и 11 соответственно.

Расчетные показатели прогнозирования экологически эффективных технологий рекультивации:

h_1 – мощность планируемого рекультивационного слоя;

M – оптимальная необходимая мощность рекультивационного слоя для предприятия по добыче угля;

$K_{\text{ф.г.}}(m)$ – поправочный коэффициент на определенное количество фракции физической глины в насыпном, рекультивационном слое от общей массы породы (при тяжелосуглинистом гранулометрическом составе равен 1);

$h_2 = M - h_1$ – мощность подстилающей вскрышной породы;

$K_{\text{ф.г.}}(\text{п. п.})$ – поправочный коэффициент на определенное количество фракции физической глины в подстилающей вскрышной породе от общей массы породы (при тяжелосуглинистом гранулометрическом составе равен 1).

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы

Российская Федерация является одной из крупнейших в мире стран по запасам разведанных полезных ископаемых (в том числе по резервам угля) и занимает лидирующие позиции по добыче этого ценного ресурса. Для развития экономики Российской Федерации добыча угля имеет важное значение [1]. Минерально-сырьевая база угля очень разнообразна и представляет собой все типы и разные марки углей со своими технологическими свойствами [2].

С одной стороны, в соответствии со стратегией развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 г., добыча и переработка угля в России является одной из задач для социально-экономического развития, с другой – деятельность предприятий по добыче и переработке угля влияет на состояние всех компонентов окружающей среды и на каждом этапе сопровождается негативным влиянием на природную среду [1]. Особенно существенное влияние оказывают работы по добыче угля открытым способом: происходит уничтожение почвенного и растительного покрова. В результате деятельности открытых горных работ изменяется естественный ландшафт и, соответственно, растительный и почвенный покров, трансформируется гидрологический режим, увеличивается антропогенное воздействие на все компоненты природной среды, происходит изъятие земель на длительный период [3].

В.А. Ковалев, В.П. Потапов, Е.Л. Счастливцев в своей работе отмечают, что прирост нарушенных территорий от воздействия открытых горных работ, в среднем составлял 3,0 – 3,2 % в год. Так, на 1 января 2025 г. вся площадь нарушенных земель по добыче угля открытым способом составляла 45 000 га. Несмотря на то, что в 2025 г. в Кемеровской области – Кузбассе общая добыча угля снизилась на 3,9 % в сравнении с 2024 г., площадь нарушенных земель в регионе весьма внушительная. Так, результаты обработки данных дистанционного зондирования Земли Кемеровским филиалом ФИЦ ИВТ

показывают, что в 2023 г. общая площадь нарушенных земель предприятиями в Кемеровской области – Кузбассе составляет 110,345 тыс. га, в том числе угольными разрезами – 79,464 тыс. га. Площадь рекультивированных и самозарастающих отвалов составляет 21,017 тыс. га. [4]. Только в горно-таежной подзоне Кузбасса площадь нарушенных экосистем составляет 254,2 км² (рисунок 1.1).

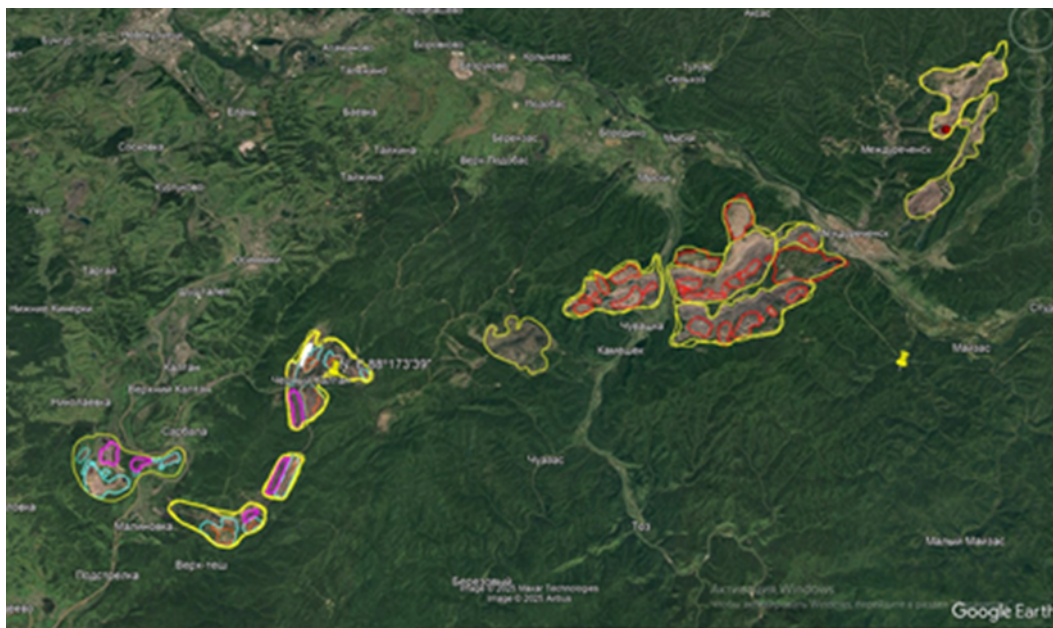


Рисунок 1.1 – Площадь нарушенных экосистем в горно-таежной подзоне Кузбасса

Анализируя показатели развития добычи угля в Кемеровской области – Кузбассе на период до 2035 г., можно отметить следующее: в сравнении с объемом общей добычи угля в 2018 г. (255,7 млн т) планируется снижение до 235 млн т угля. Однако при развитии оптимистичного варианта в угледобывающем секторе региона общая добыча угля, в том числе и открытым способом, в 2035 г. может увеличиться до 297 млн т [5]. На основании Федерального закона «Об охране окружающей среды» одним из основных принципов для обеспечения благоприятных условий среды и экологической безопасности является рациональное использование природных ресурсов, в соответствии с концепцией перехода России к устойчивому развитию необходимо создавать условия для постепенного восстановления природных

экосистем до уровня, гарантирующего стабильное функционирование окружающей среды как на уровне региона, так и страны в целом [6, 7]

Комплексный подход к рекультивации земель (создание корнеобитаемого слоя из плодородного слоя почвы (ПСП), потенциально плодородных пород (ППП) и других материалов; внесение минеральных удобрений и микроорганизмов; подбор видового разнообразия растений и травосмесей; формирование благоприятного рельефа) будет способствовать ускоренному восстановлению растительного и почвенного покрова на техногенно нарушенных территорий. Между тем, оценивая районы по природно-климатическим, геологическим, геоморфологическим условиям, необходимо отметить тот факт, что на определенных территориях разных регионов страны имеется дефицит как ПСП, так и PPP (покровных суглинков). Кроме того, после завершения работ на предприятиях по добыче угля остаются значительные площади выработанного пространства. При решении вопросов заполнения карьерных выработок, оставшихся после ведения горных работ предприятиями по добыче угля для создания безопасного, устойчивого ландшафта и возврата нарушенных территорий в повторное использование, возникает дефицит материалов. Такой дефицит можно компенсировать техногенными ресурсами.

Таким образом, разработка научно-технологических основ рационального использования природных и техногенных ресурсов для рекультивации земель, нарушенных деятельностью предприятий по добыче и переработке угля (на примере Кемеровской области – Кузбасса), имеет важное хозяйственное значение для обеспечения устойчивого развития горнодобывающих регионов, экологического благополучия населения и является актуальной научной проблемой.

Цель работы – разработка научно-технологических основ рационального использования лито- и техногенных ресурсов в экономике замкнутого цикла для экологически эффективной рекультивации земель,

нарушенных деятельностью угледобывающих предприятий Кемеровской области – Кузбасса.

Идея работы заключается в вовлечении природных (литогенных) и техногенных ресурсов для эффективных решений проблем рекультивации земель (восполнения недостатка плодородного слоя почвы и материалов для создания искусственных почв (техноземов) и устойчивого, безопасного ландшафта на поверхности карьерных выработок) предприятиями по добыче угля Кемеровской области – Кузбасса, расположенными в разных природно-климатических, геологических районах.

Для достижения поставленной цели работы были сформулированы следующие задачи:

1. Исследования природных (климатических и биологических (растительность)) ресурсов и оценка их значимости при восстановлении растительного и почвенного покрова на техногенно нарушенных территориях в разных природно-климатических подзонах Кузбасса.

2. Комплексная оценка литогенных, техногенных ресурсов (минералогические, физико-химические, агрохимические, биологические исследования) и установление критериев пригодности основных вскрышных и вмещающих пород горно-таежной подзоны Кузбасса для рекультивации земель и благоприятного функционирования фитоценозов и искусственных почв (техноземов).

3. Экспериментальные исследования внедрения технологии рекультивации земель в процессе ведения горных работ (селективное отвалообразование) для повышения экологической эффективности восстановления растительного и почвенного покрова на участках рекультивации (на примере филиала АО «УК» «Кузбассразрезуголь» «Калтанский угольный разрез»).

4. Создание экологического полигона и проведение апробации технологий рекультивации в условиях дефицита литогенных ресурсов (плодородного слоя почвы и потенциально плодородных пород (покровных

суглинков)) для биологической рекультивации земель (на примере АО «Разрез Распадский»).

5. Экспериментальные исследования технологии рекультивации с использованием техногенных ресурсов (отходов углеобогащения) и оценка их влияния на развитие растительного и почвенного покрова.

6. Разработка научно-технологических основ рационального использования природных и техногенных ресурсов для реализации экологически эффективных технологий рекультивации земель в экономике замкнутого цикла предприятий, которые учитывают специфику техногенных ландшафтов и влияние природно-климатических и литогенных факторов на развитие растительного и почвенного покрова.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Скорость трансформации техногенных ландшафтов в природно-техногенные комплексы определяется технологией рекультивации земель (составом и строением корнеобитаемого слоя техноземов, оптимальной мощностью, подбором видового состава растений и наиболее предпочтительных схем посадки лесных культур; составом травосмесей; применением органоминеральных удобрений), учитывающей специфику техногенных ландшафтов, влияние природно-климатических и литогенных факторов на развитие растительного и почвенного покрова. Это диагностируется изменением почвенно-экологического состояния и уровнем сингенетического развития растительного и почвенного покрова на техногенных ландшафтах.

2. Почвенно-экологическая эффективность рекультивации земель определяется свойствами искусственных почв (техноземов), сформированных на нарушенной поверхности. Наибольшая эффективность в горно-таежной подзоне Кузбасса достигается при использовании литогенных ресурсов (ПСП и ППП – четвертичные отложения I категории). При дефиците литогенных ресурсов (четвертичные отложения I категории) для формирования корнеобитаемого слоя целесообразно использовать ресурсы II категории, что

обусловлено благоприятным гранулометрическим составом и возможностью регулировать физические, физико-химические параметры корнеобитаемого слоя.

3. Наиболее экологически эффективной технологией рекультивации земель в условиях дефицита плодородного слоя почвы является технология создания техноземов на поверхности техногенных ландшафтов из смеси ПСП и ППП (четвертичные отложения I категории). При такой технологии уже в первые годы функционирования техноземов наблюдается активное восстановление фитоценозов со значительным видовым разнообразием (52 вида), минимальной долей сорных видов растений (15 %), наибольшей продуктивностью (59,2 ц/га). Почвенно-экологическая эффективность рекультивации достигает 50 %.

4. Отходы углеобогащения целесообразно использовать как техногенный ресурс и размещать их в выработанном пространстве карьеров для создания безопасного и благоприятного ландшафта. Технология создания техноземов из ППП (покровных суглинков) и ПСП в послойном виде на поверхности долговременных размещенных отходов препятствует возникновению негативных последствий на окружающую среду и способствует устойчивому развитию растительного и почвенного покрова.

5. Для восполнения дефицита ПСП и ППП (четвертичные отложения I категории) в горно-таежной подзоне Кузбасса целесообразно использовать техногенные ресурсы предприятия и формировать искусственные почвы (техноземы модифицированные) из ППП (четвертичные отложения II категории), золошлаковых материалов и окисленных каменных углей. За счет увеличения содержания органического вещества и поглонительной способности техноземов элементы питания не вымываются в нижние слои почв.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются: использованием современных методов выполнения научных исследований, математической обработкой результатов, публикациями в рецензируемых научных изданиях и апробацией на

многочисленных научных мероприятиях по темам основных направлений исследований, представленных в диссертации.

Научная новизна работы:

1. Выполнена комплексная почвенно-экологическая оценка вскрышных и вмещающих пород, образующихся в процессе деятельности горнодобывающих предприятий, расположенных в горно-таежной подзоне Кузбасса. Оценка позволила определить потенциал пригодности пород для биологической рекультивации земель. Основными критериями применимости пород для биологической рекультивации являются минералогические, агрохимические и физико-химические свойства, обеспечивающие потенциал пород к развитию растительного покрова и процессов почвообразования. Ранжирование пород на категории по пригодности для биологической рекультивации земель позволяет повысить эффективность использования литогенных ресурсов для ускоренного восстановления нарушенных территорий.

2. Впервые оценена трансформация искусственных почв с разными видами отсыпок (формирование корнеобитаемого слоя из ПСП и ППП), сформированных на отходах углеобогащения. Это диагностируется степенью преобразования субстратов, изменением почвенно-экологического состояния и уровнем сингенетического развития растительного и почвенного покрова на техногенных ландшафтах.

3. Впервые на искусственных почвах (техноземах), сформированных с использованием разных смесей из литогенных ресурсов, исследовано развитие растительного покрова и накопление органического вещества в почвах с «нулевого» момента, что позволяет оценить перспективы использования рекультивированных участков в климатических проектах по депонированию углерода.

4. Получены новые количественные данные об экологической безопасности отходов углеобогащения, размещенных в выработанном пространстве карьеров, о развитии растительного и почвенного покрова

рекультивированных участков. Выявлены закономерности в распределении и аккумуляции полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в отходах углеобогащения и искусственных почвах – техноземах и эмбриоземах.

5. Показано, что использование технологии создания искусственных почв (техноземов модифицированных) на основе золошлаковых материалов, окисленных каменных углей и четвертичных отложений на поверхности техногенных ландшафтов способствует накоплению органического углерода, повышению ёмкости катионного обмена в почвах и развитию растительного покрова.

Теоретическая и практическая значимость реализации результатов

На основе многолетнего опыта научно обоснованы экологически эффективные технологии рекультивации с использованием природных и техногенных ресурсов, мощность рекультивационного слоя (состав и строение профиля искусственных почв (техноземов), рельеф, выбор видового состава растений и травосмесей, использование удобрений), которые учитывают воздействие природно-климатических факторов на развитие почвообразовательного процесса и растительного покрова, в том числе и с использованием образующихся на угольных предприятиях отходов. Предложены способы сохранения и рационального использования природных ресурсов в процессе горного производства, обоснован алгоритм действий для восстановления техногенно нарушенных территорий с высокой почвенно-экологической эффективностью.

На основе новых научных данных по исследованию ПАУ в отходах углеобогащения и искусственных почвах (техноземах и эмбриоземах) предложена технология создания корнеобитаемого слоя путем послойного нанесения на поверхность отходов углеобогащения литогенных ресурсов, состоящих из покровных суглинков и плодородного слоя почвы, которая способствует формированию устойчивого растительного покрова и консервации отходов углеобогащения.

Тематика научных исследований соответствует приоритетным направлениям научно-технологического развития РФ и перечню важнейших наукоемких технологий «Адаптация к изменениям климата, сохранение и рациональное использование природных ресурсов». С 2019 г. научные исследования проводились в рамках проектов Российского фонда фундаментальных исследований: проект № 20-44-420006 «Оценка потенциала применения отходов углеобогащения для рекультивации нарушенных земель в Кузбассе». Результаты научных исследований по восстановлению техногенно нарушенных территорий послужили основой для создания экологического полигона на АО «Разрез Распадский» в рамках научно-исследовательской работы «Создание экологического полигона по отработке технологий рекультивации и оценке перспектив поглощения CO₂ на нарушенных и подработанных землях», договор № ДГРР7-002969 от 08.06.2022 г. Результаты научных исследований и методические подходы, разработанные в рамках диссертационной работы, использованы при рекультивации нарушенных земель на АО «Разрез Распадский», а также используются в учебном курсе «Горнопромышленная экология» по специальности 21.05.04 «Горное дело».

Апробация результатов исследования

Основные научные и практические результаты работы доложены на российских и международных конференциях: Международной научной конференции «Природно-техногенные комплексы: современное состояние и перспективы восстановления (13 – 18 июня 2016 г., г. Новосибирск); V Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ «Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове. Сборник материалов» (7 – 11 сентября 2015 г., г. Томск); Международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов», проводимой в рамках специализированной выставки технологий горных разработок «Уголь России и Майнинг» (7 – 10 июня 2016

г., г. Новокузнецк; 7 – 11 сентября 2020 г., г. Новокузнецк; 1 – 4 июня 2021 г., г. Новокузнецк, 7 – 10 июня 2022 г., г. Новокузнецк); VIII съезде Общества почвоведов им. В.В. Докучаева «Почвы – стратегический ресурс России» (10 – 14 августа 2022 г., г. Сыктывкар); IX съезде Общества почвоведов им. В.В. Докучаева «Почвы – опора России» (12 – 16 августа 2024 г., г. Казань); Всероссийской научно-практической конференции «Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность и биоразнообразие» (1 – 3 октября 2024 г., г. Новокузнецк); Международной научно-практической конференции «Развитие производительных сил Кузбасса: история, современный опыт, стратегия будущего» (17 – 23 ноября 2023 г., г. Москва, г. Новокузнецк).

Публикации

Основные положения и результаты работы представлены в 34 научных публикациях, из них 14 статей в изданиях, входящих в перечень ВАК, Scopus и RSCI по защищаемой специальности.

Структура диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, восьми глав и заключения, содержит 172 рисунка, 78 таблиц, 3 приложения, список использованных источников из 257 наименований.

Автор выражает особую признательность и благодарность своему учителю, научному консультанту Андроханову Владимиру Алексеевичу за поддержку, научные консультации, помощь в организации и проведении полевых исследований при выполнении диссертационной работы. Особую благодарность автор выражает Эпштейн Светлане Абрамовне за ценные консультации при обсуждении результатов исследований. Автор благодарна Соколову Денису Александровичу, Госсену Игорю Николаевичу, Соловьеву Сергею Викторовичу, Уфимцеву Владимиру Ивановичу, Шипиловой Асе Максимовне, Темлянцеву Михаилу Викторовичу, Журавлевой Наталье Викторовне за поддержку в обсуждении результатов диссертационной работы и участие в полевых исследованиях. Автор благодарит весь коллектив Центра Геоэкологии, кафедры геологии, геодезии и безопасности жизнедеятельности СибГИУ за поддержку в работе.

Глава 1 Современное состояние существующих технологий рекультивации нарушенных земель

1.1 Природные ресурсы и их рациональное использование для рекультивации земель

Под природными ресурсами понимаются естественные природные образования в разных средах (атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы), созданные природой без деятельности человека, но используемые обществом для технологического и социального развития [8]. Природные ресурсы классифицируются по способности к естественной возобновимости и истощаемости. Из возобновимых можно выделить ресурсы по возможности к самовосстановлению (почвы, биоразнообразие – растения и животные). К истощаемым и невозобновляемым относятся полезные ископаемые [8]

Нерациональное использование природных ресурсов обуславливает переход возобновимых ресурсов в невозобновимые, например, почвы со своими уникальными экологическими функциями. Возобновимые и невозобновимые можно разделить на восполнимые и невозполнимые. Невозобновляемые или трудновозобновляемые природные ресурсы (почвы) могут быть восполнимы, но только при условии охраны и рационального использования ресурсов человеком в любой его деятельности. [8]

Значительный вклад в разработку концепции рационального природопользования внесли отечественные ученые, такие как Д.А. Арманд, В.А. Анучин, Н.Ф. Реймерс, С.Н. Бобылев, Н.Ф. Глазовский. Существуют различные интерпретации определения рационального использования природных ресурсов [9 – 12].

В целом, рациональное использование природных ресурсов – это форма экологической деятельности, основу которой, с одной стороны, составляет сохранение природной среды и способность её к самовосстановлению, с другой – максимально эффективная разработка

природных ресурсов с учетом развития современной техники и технологий является драйвером социально-экономического роста, что способствует устойчивому развитию общества [13, 14].

По мнению ученых В.О. Таргульяна и С.В. Горячкина, основной задачей рационального использования природных ресурсов является сохранение живой оболочки как области жизни на Земле [15].

Выдающийся отечественный ученый В.И. Вернадский с оптимизмом смотрел и верил в будущее развитие биосферы как на новое состояние ноосферы и считал, что перед человечеством в геологической истории развития живой оболочки открываются широкие возможности, но при этом человек должен понять и не применять свою разумную деятельность на самоистребление [16]

Сохранение природной среды для будущих поколений с её исторически сложившимся обменом веществ и энергии, уникальной качественной индивидуальностью и специфичностью является неотъемлемым условием существования человечества и зависит от множества факторов.

Поддержание почвы (важнейшего компонента биосферы) обеспечивает исторический круговорот веществ и энергии. Благодаря своим незаменимым свойствам, она выполняет глобальные экологические функции на всех уровнях организации живой материи Земли [15, 17]

Как отмечает Г.В. Добровольский, почвенный покров Земли в её природном виде и состоянии – это продукт очень длительный, многообразный и неоднозначный своей эволюционной деятельностью в разных природных регионах. Жизнь, а также благополучие всех наземных биоценозов зависит от экологического состояния почвенного покрова [18].

В естественных, ненарушенных ландшафтах почвы являются устойчивым компонентом биосферы, находящиеся в равновесном состоянии со средой обитания. В связи с тем, что функционирование предприятий по добыче и переработке угля оказывает влияние на все компоненты природной среды, особенно на почвенный и растительный покров, устойчивость почв

как одного из компонентов биосферы нарушается. Восстановление экологических функций техногенных почв, их равновесного состояния с окружающей средой на нарушенных территориях после действий предприятий по добыче угля и его переработке возможно при выполнении экологически эффективной рекультивации нарушенных земель.

Рекультивация нарушенных земель является одним из процессов горных работ. В соответствии с нормативными документами под рекультивацией нарушенных земель понимается комплекс мероприятий, который направлен на уменьшение процессов деградации таких земель и/или восстановление плодородия до пригодного состояния в соответствии с целевым назначением и разрешенным к использованию (мероприятия по снижению загрязнения земель, по восстановлению почвенного плодородия и формированию насаждений различного значения) [19]. Основные нормативные документы содержат требования к рекультивации нарушенных земель открытым и подземным способами, а также других видов хозяйственной деятельности человека. В зависимости от целевого назначения и вида использования в документе показаны требования к лесохозяйственному, водохозяйственному, санитарно-гигиеническому и рекреационному направлениям рекультивации земель [19].

Развитие растительности, процессов почвообразования и соответственно почвенно-экологическая эффективность рекультивационных работ во многом зависит от сохранения и рационального использования природных ресурсов. В работе рассматриваются следующие природные ресурсы. Литогенные ресурсы – плодородный слой почвы и потенциально плодородные породы (покровные суглинки). Так как данные ресурсы содержат в себе ценные минеральные вещества, являются источником полезных физических, агрохимических свойств, которые обеспечивают благоприятное функционирование фитоценозов. Это лучшие природные ресурсы для создания искусственных почв (техноземов), они являются литогенными ресурсами для рекультивации земель [20].

Кроме литогенных ресурсов, климатические и биологические (растительность) ресурсы являются значимыми факторами, влияющими на восстановление растительного и почвенного покрова, а также на выбор технологии рекультивации земель (строение и оптимальная мощность корнеобитаемого слоя на поверхности техногенных ландшафтов, подбор видового состава растений и травосмесей для биологической рекультивации земель).

Известно, что жизнедеятельность почвенных организмов определяет биохимические процессы в молодых почвах, тем самым трансформируя техногенные субстраты в более зрелые почвы. На этот процесс значительное влияние оказывают климатические условия: показатели тепла (среднемесячные и среднегодовые температуры, сумма биологически активных температур выше 10 °С, продолжительность безморозного периода), количество осадков, коэффициент увлажнения и мощность снежного покрова.

Следует отметить и биологические природные ресурсы (растительные), обеспечивающие развитие внутрипочвенных биоценозов, трансформирующие исходный субстрат вскрышных пород в молодые почвы. Богатый видовой состав фитоценозов и близость ненарушенных естественных территорий к отвалам способствуют активному развитию фитоценозов на участках после рекультивации земель.

Кроме того, в соответствии с требованиями ГОСТ 17.5.03 – 86 «Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель» плодородный слой почвы и потенциально плодородные породы (покровные суглинки) являются пригодными породами. В соответствии с утвержденным приказом Минприроды России и Роснедр от 25 апреля 2023 г. № 247/04 «Порядок использования отходов недропользования, в том числе вскрышных и вмещающих горных пород, пользователями недр» и Законом Российской Федерации от 21 февраля 1992 г. № 2395-1 «О недрах» (ст. 23.4), вскрышные и вмещающие породы,

образовавшиеся при добыче полезных ископаемых, не являются отходами производства и потребления только при определенном использовании вскрышных и вмещающих пород, в том числе для рекультивации земель [21, 22].

Рациональное использование литогенных ресурсов для рекультивации нарушенных земель предприятиями по добыче угля и его переработки в соответствии с требованиями действующего законодательства Российской Федерации (созданием технической документации на разработку месторождения полезных ископаемых, где будет отражено целевое использование вскрышных и вмещающих пород, прохождение экологической экспертизы с положительным заключением) будет способствовать не только активному восстановлению растительного и почвенного покрова на техногенных ландшафтах, но и снижению количества отходов производства и потребления.

Сохранить и рационально использовать ценные литогенные ресурсы для рекультивации земель возможно только в процессе ведения горных работ.

Вопросам рационального и комплексного использования ресурсов недр в области горного дела уделялось пристальное внимание. Отечественные ученые (В.Н. Макаров, К.В. Трубецкой, Н.Б. Никитин) развивали экологическое направление, в основе которого лежала горно-экологическая концепция, где рассматривались вопросы рационального использования ресурсов и охраны недр во взаимосвязи с охраной природной среды [23].

Рациональное использование потенциала природных ресурсов и мониторинговые исследования состояния окружающей среды угледобывающего региона Кемеровской области – Кузбасса (далее – Кузбасса) детально рассмотрены в работе В.А. Ковалева, В.П. Потапова и Е.Л. Счастливцева [3]. Авторы отмечают, что геологическое строение Кузнецкого угольного бассейна для разработки месторождения открытым

способом весьма разнообразное. В зависимости от особенностей района угольного бассейна выделяются три группы с разным залеганием пластов:

- северные районы Кузбасса представлены наклонными пластами;
- центральные районы с крутыми пластами;
- в южных районах преобладают пласты с пологим и наклонным залеганием.

В работе отмечается, что выбор системы разработки месторождения полезных ископаемых прежде всего обусловлен горно-геологическими условиями. Площадь нарушений земной поверхности зависит от разных факторов и одним из таких показателей является (в зависимости от горно-геологических условий) угол откоса рабочего борта. Авторы считают, что для рационального использования земельных ресурсов при ведении горных работ открытым способом угол откоса рабочего борта необходимо увеличивать с учетом безопасного размещения горного оборудования до максимальных значений. В работе показана методика, которая определяет рациональное и эффективное использование земель при открытых горных работах в зависимости от отношения площади выемки к запасам полезного ископаемого (в пределах контура) при строительстве первого этапа карьера. Отмечается, что использование данной методики на предпроектном этапе планирования разработки месторождения полезных ископаемых позволяет уменьшить норматив нарушения земель горнодобывающим предприятием и определить эффективное и рациональное использование земель под строительство карьера. Авторы в своей работе показывают, что многоярусная схема формирования отвалов для горных предприятий Кузбасса является наиболее рациональной. Показано, что высота внешних отвалов также является актуальным вопросом с позиции рационального землепользования, поэтому необходимо стремиться к тому, чтобы формирование отвалов осуществлялось с максимально возможной высотой и минимальным их количеством. Также в работе показана гибкая технология ведения горных работ открытым способом с формированием внутренних отвалов, что

является наиболее экологически эффективной. Авторами установлено, что данная технология позволяет уменьшить площади нарушенных земель (внешних отвалов и карьерных выемок) в 1,5 – 1,8 раз, соответственно происходит снижение техногенной нагрузки на природную среду. Кроме того, в работе представлена методика расчета интегрального показателя в зависимости от параметров гидротермического коэффициента, орографии местности, объемной плотности субстрата и сукцессии фитоценозов. В зависимости от расчётного интегрального показателя предложены рекомендации по восстановлению техногенно нарушенных территорий земель [3].

Научные основы рационального использования природных ресурсов по разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом также рассмотрены в работе Г.Г. Пивняка, И.Л. Гуменика, Г.Г. Дребенштеда, А.И. Панасенко. На основе методологических подходов к рациональному использованию разработаны стратегии развития предприятий по добыче угля открытым способом. Основные направления, представленные в стратегиях, а именно: комплексное освоение месторождений полезных ископаемых, использование экономически эффективных и экологически обоснованных процессов разработки месторождений, учет нормативных требований к восстановлению техногенно нарушенных территорий, минимизация последствий на природную среду. Все эти направления позволяют достигнуть не только экономических, но и экологических показателей. Авторы в своей работе отмечают, что для обеспечения устойчивого развития природной среды и экологического безопасного функционирования горнодобывающих предприятий после значительных изменений природной экосистемы горными работами необходимо создавать новые техногенные ландшафты. Таких результатов можно добиться на основе применения технологий при более экологичных и ресурсосберегающих подходах. Авторы отмечают, что эколого-экономическая оценка на этапе планирования разработки месторождений полезных ископаемых является одним из условий

достижения экологически и экономически эффективной работы горнодобывающего предприятия. Этот факт обусловлен тем, что только на этапе планирования горных работ возможно спланировать создание оптимальных форм рельефа отвала с учётом природно-климатических и геологических условий района, а также селективного складирования благоприятных пород для биологической рекультивации.

Вопросы формирования техногенных ландшафтов как новых структур, функционирующих как одно целое, рассмотрены в работе В.И. Супруна, К. Дребенштедта, Я.В. Левченко, А.Я. Якутова, Т.В. Корчагиной [23]. Авторы отмечают, что природные и техногенные аспекты должны не мешать друг другу, а дополнять. Формирование техногенных ландшафтов рассматривается с позиции технологий горных работ и природных факторов. Отмечается, что важным условием их формирования является геологическое строение и угол падения пластов. Показаны эколого-экономические эффективные варианты проектирования техногенных ландшафтов разными горнотранспортными средствами. В работе уделяется факторам, определяющим посттехногенное функционирование ландшафтов, а именно климатическим и геоморфологическим. Авторы отмечают, что в настоящее время нет четких нормативных и методических рекомендаций по восстановлению техногенно нарушенных территорий в зависимости от индивидуальных особенностей климата (температура, влажность, количество осадков) и геоморфологии (геологическое строение, рельеф местности, почвенный и растительный покров) [23]. Отмечается, что разработка рекомендаций для реабилитации ландшафтов должны быть выполнена в соответствии с природно-климатическими, горно-геологическими условиями и особенностями окружающего ландшафта. В работе указаны два главных фактора, которые могут способствовать развитию растений: гранулометрический состав пород и их влажность. Отмечается, что для территорий с аридным климатом наиболее экологически эффективным способом реабилитации техногенных ландшафтов является

комплекс мероприятий по созданию микросреды и верхних площадок на поверхности ландшафта, расположенных на экспозициях склонов с восточной и северной стороны, также в аридных климатических условиях при дефиците почвенных ресурсов рекомендуется планировка поверхности путем нарезки на склонах техногенных ландшафтов борозд и посадка засухоустойчивых растений. Показано, что формирование верхнего слоя на поверхности ландшафта из потенциально плодородных пород и плодородного слоя почвы в районах с умеренным климатом является эффективным и целесообразным мероприятием. На основании многолетнего опыта авторы отмечают, что вопросы формирования техногенных ландшафтов и вопросы их реабилитации должны рассматриваться уже на начальной стадии ведения горных работ, перенос работ по восстановлению ландшафтов на позднем этапе горных работ недопустим. Также показаны технологии формирования техногенных ландшафтов. Особое внимание уделяется созданию стационарных поверхностей с опережающими насыпями для складирования ценных ресурсов – потенциально плодородных пород и почвенного слоя [23].

В работе показан положительный опыт формирования техногенных ландшафтов (на примере Лаузицкого бассейна по добыче бурого угля, Германия). В основе проектирования техногенных ландшафтов лежит комплекс задач по восстановлению районов, где добыча угля уже прекращена, а также добыча в перспективных (среднесрочных) и долгосрочных районах. На горных предприятиях, где добыча угля уже прекращена, преобладают выработанные карьерные пространства. На месте этих выработок планируется создание водоемов с безопасными склоновыми поверхностями и противозрозионной защитой. При создании береговой зоны предусмотрен комплекс мероприятий по покрытию прибрежных склонов и береговых зон благоприятной породой или почвой. Показано, что создание привлекательного ландшафта и увеличение его многообразия (рощи, лесополосы, луга с противопожарным и мониторинговым контролем)

являются базовыми мероприятиями на землях сельскохозяйственных и лесных угодий. Данные мероприятия по санированию техногенных ландшафтов выполняются на основе плана горных работ и перспективного прогноза будущих ландшафтов бурого угольного бассейна. На основании планирования, ещё до осуществления горных работ по добыче бурого угля, посттехногенные ландшафты представлены лесом, пашней, лугом, речными водоёмами и другими территориями. Авторы считают, что только разумная деятельность человека (планирование посттехногенных территорий) позволит создать эстетически привлекательный и экологически безопасный ландшафт для будущих поколений [23].

Положительный опыт использования «зеленой» концепции для восстановления природной среды и разработки месторождений открытым способом показан на примере угледобывающего предприятия в Китае. На основе комплексных исследований нарушений окружающей среды горными работами разработана система экологической оценки предприятий по добыче угля открытым способом. Исследования основываются на рассмотрении жизненного цикла горных работ открытым способом и восстановлении природной среды (подробно изучаются вопросы восстановления окружающей среды совместно с планированием горных работ). На основании результатов исследований разработаны стратегии, которые гарантируют, что экологическое восстановление природной среды будет осуществляться одновременно с добычей полезных ископаемых [24].

Аналогичные исследования по концепции рекультивации техногенных ландшафтов были проведены с применением ландшафтного планирования будущего разреза (бассейн бурого угля в Болгарии). Показано, что эколого-экономические цели после добычи угля могут быть достигнуты за счёт сокращения площади нарушенных земель (использование внутреннего отвалообразования), отказа от переноса природных водоемов, рационального и эффективного использования плодородного слоя почвы (черноземов) и других пригодных материалов для биологической рекультивации.

Установлено, что применение ландшафтного планирования в концепции рекультивации земель будущего угольного разреза (создание водоемов, лесов, луговых угодий) позволит снизить экологические последствия на природную среду и создать эстетически привлекательный вид посттехногенных ландшафтов [25].

Значительный вклад в развитие научно-практических основ экологии и охраны окружающей среды при разработке месторождений открытым способом внесли П.И. Томаков, В.С. Коваленко, А.М. Михайлов, А.Т. Калашников, М.Е. Певзнер [26, 27].

В работе показаны рациональные технологические схемы по сохранению земель при разработке угольных пластов с разным залеганием (горизонтальном, пологом, наклонном и крутом залегании). Уделено пристальное внимание формированию внешних и внутренних отвалов с позиции рационального использования земель. Рассмотрены основные принципы и требования к параметрам отвалов, а именно: соблюдение кратчайших сроков возведения отвала на предельную (конечную) высоту, обеспечение оптимального режима разработки территории и ее восстановления, создание на технологическом этапе благоприятных условий для будущей рекультивации земель. Авторы отмечают, что обязательным условием для успешного восстановления нарушенных территорий является создание на поверхности отвалов верхнего слоя из пригодных пород, а также благоприятного рельефа поверхности. В работе показаны схемы рационального формирования внешних отвалов, ведения работ по снятию плодородного слоя почвы и его складирования. Положительный опыт рационального землепользования представлен схемами формирования внешних отвалов. Предложена схема поярусного формирования внешнего отвала. Данная схема отвалообразования позволяет сократить затраты на транспортировку вскрышных пород за счет незначительной высоты ярусов, однако для реализации её требуются большие площади под размещение пород. Кроме того, при использовании данной схемы работы рекультивацию

земель можно осуществлять только через 15 лет и более. По истечении времени технологическая возможность отсыпки верхнего слоя на поверхность отвала из потенциально плодородных пород уже отсутствует, так как ведется разработка более глубоких горизонтов.

Другая схема (схема с одновременной отсыпкой отвальных ярусов) является наиболее экологичной, однако с точки зрения организации транспортной логистики более трудоемкой. Данная схема осуществляется в два этапа:

- на первом этапе осуществляется работы по формированию отвала в максимально короткие сроки до уровня проектной высоты;
- на втором этапе выполняется одновременная отсыпка всех ярусов отвала с равномерным движением фронта горных работ. Эта схема позволяет совмещать рекультивацию земель и формирование отвалов [26].

Правильный выбор рациональной схемы отвалообразования при осуществлении горных работ обеспечивает, прежде всего, сохранение ценных литогенных ресурсов – плодородный слой почвы и потенциально плодородных пород (покровные суглинки), пригодных для биологической рекультивации, так как почвы являются естественно-историческим телом, содержат гумус, «банк» семян и зачатки растений, почвенную биоту. Благодаря уникальным свойствам почвенного пространства, пригодного для жизнедеятельности многих видов организмов, в почвах создается среда для сохранения семян и зачатков растений. Из многочисленных наблюдений за сроком сохранения семян и зачатков в почве следует, что семена высших растений могут сохраняться в жизнеспособном состоянии длительное время [17].

1.2 Анализ современного состояния технологий рекультивации нарушенных земель

Вопросами рекультивации нарушенных земель отечественные ученые-рекультиваторы занимаются уже более 60-ти лет (с начала 1960 г.). В

многочисленных работах показана история развития научных коллективов и направления научных исследований [28, 29].

Значительный вклад в развитие исследований по восстановлению техногенно нарушенных территорий внесли С.С. Трофимов и С.А. Таранов. С.С. Трофимов в своих работах отмечал, что технический и биологический этапы рекультивации земель должны рассматриваться как единое целое с целью создания оптимальных условий для жизнедеятельности биогеоценоза. На техническом этапе закладываются рациональные параметры рельефа, создается корнеобитаемый слой из пригодных пород с благоприятными физическими и агрохимическими свойствами для растений. Отмечается, что на биологическом этапе рекультивации следует уделять внимание подбору видового состава растений для конкретных природно-климатических условий [30].

Результаты многолетних исследований техногенных ландшафтов, проводимые С.С. Трофимовым и С.А. Тарановым, показали, что рельеф, сформированный на отвалах с различными понижениями и возвышенностями, влияет на развитие почвенного покрова. Показано, что крутые экспозиции склоновых поверхностей, особенно южных экспозиций, влияют на развитие молодых почв и фитоценозов, пологие откосы отвалов находятся в более выгодном обеспечении, в части нагрева поверхности участка рекультивации и распределения влаги. Также авторами отмечается влияние горных работ и близость естественных природных зон на трансформацию молодых почв техногенных ландшафтов. Результаты исследований показывают, что вскрышные и вмещающие породы осадочного происхождения обладают плодородием, а близость естественных ненарушенных ландшафтов создают уникальные условия для ускоренного заселения техногенных местообитаний спорами растений и микроорганизмов. Все эти аспекты влияют на процессы почвообразования [30]. Кроме того, С.С. Трофимов и В.А. Овчинников разработали классификацию форм рельефа после добычи угледобывающих предприятий, где представлена характеристика форм рельефа в зависимости

от технологических особенностей горных работ, указаны преобладающие элементы горного рельефа, их морфометрические показатели, в зависимости от форм антропогенного рельефа предложены эффективные направления рекультивации земель [31].

Основоположником развития направления восстановления фитоценозов на отвалах Урала является В.В. Тарчевский, в его работах отражены закономерности восстановления растительного покрова на промышленных отвалах [32]. Вопросы восстановления природно-техногенных ландшафтов также отражены в работах Б.П. Колесникова [30].

Результаты исследований в области лесной рекультивации земель Курской магнитной аномалии (КМА) подробно освещены в работах И.В. Трещевского и Я.В. Панкова. На основании многолетних исследований были выработаны рекомендации по подбору культур и способам их выращивания на отвалах. Особую значимость для лесной рекультивации придавали быстрорастущей и засухоустойчивой породе – облепихе [33].

Значительный вклад в развитие лесной рекультивации и исследования процессов восстановления фитоценозов на отвалах Кузбасса внесли отечественные ученые Л.П. Баранник и А.Н. Куприянов. В работах показано, что видовой состав на начальной стадии самозаращения отвалов существенно зависит от привноса семян с прилегающих ненарушенных природных территорий. Авторы отмечают, что глубинные вскрышные породы по своим физическим, химическим и агрохимическим свойствам сильно отличаются от естественных почв, и эти различия могут сохраняться долгие годы и даже столетия [34]. Л.П. Баранник, В.И. Щербатенко, Е.Р. Кандрашин, Ф.К. Рагим-Заде, В.А. Андроханов в своих работах показывают, что на техногенных ландшафтах формируются особые микроклиматические условия. Так, в природно-климатических районах в условиях достаточного или избыточного увлажнения в вегетационный период сохраняются хорошие запасы доступной влаги для растений, однако температурный режим вскрышных пород с темно-серой окраской, особенно на крутых экспозициях склонов отвалов,

лимитируют восстановление растительного покрова. На основании результатов комплексных исследований показаны стадии формирования фитоценозов в зависимости от природно-климатических районов Кузбасса – от пионерной стадии развития растительного покрова до замкнутого фитоценоза [35]. По разным данным ученых, пионерная растительная группировка заселения растений происходит в посттехногенный период развития отвала, после технического этапа рекультивации нарушенных земель, как правило, в первые годы функционирования отвалов [36 – 38]. В работах показано, что отличительной особенностью таких участков после рекультивации является незначительное проективное покрытие растительностью (около 1 – 15 %) и число поселившихся видов составляет от 5 до 10. Основными пионерами горно-таежной подзоны Кузбасса являются кипрей узколистный (*Chamaenerium angustifolium* (L.)) и мать-и-мачеха (*Tussilago farfara* L.). Из древесных растений при естественном зарастании преобладает береза бородавчатая, а в понижении отвалов появляются кустарники, такие как Ива козья и серая [37]. Также к травам-пионерам можно отнести мелкопестник канадский, ромашку ромашковидную и другие растения [35].

Через определенное время, в зависимости от созданных условий на техническом этапе рекультивации, как правило, от 7 до 10 лет после отсыпки отвалов происходит смена стадии фитоценоза от пионерной к простой растительной группировке. Выделяют три типа: многовидовой бурьянистый фитоценоз, заросли кипрея «чистые» и насаждения одновидовых берез.

В группировках разных видов преобладают растения, такие как бодяк серпуховидный, осот полевой, мать-и-мачеха, в единичных экземплярах встречаются зональные виды – борец высокий, какалия копьевидная [36]. На хорошо освещенных склонах отвалов и при отсутствии конкуренции активно разрастается кипрей узколистный. Березовые одновидовые насаждения активно разрастаются. Под кронами деревьев развиваются мхи, встречаются самосев пихты, малины, единичные экземпляры рябины и бузины [35, 39].

Отмечается, что количество видов на стадии простой группировки может увеличиваться до 30, а может достигать и 50 видов. На этой стадии происходит постепенное улучшение экологических функций молодых почв, соответственно и условий для развития растительного. Поэтому происходит формирование не только рудеральных видов «сорных», но и аборигенных видов растений [40]. На средневозрастных отвалах, ближе к 15-летним участкам рекультивации, происходит смена простой группировки фитоценоза к сложному. В растительном покрове доминируют такие растения, как вейник Лангсдорф, какалия копьевидная, папоротник, синюха Лазарева и другие виды. Фиксируется отсутствие бобовых растений, увеличивается сомкнутость крон древесной растительности, количество почвопокровных растений уменьшается (травянистого яруса). Отмечается, что самосев пихты возрастает и увеличивается количество видов естественной растительности [36]. На отвалах возрастом от 20 до 35 лет фитоценоз эволюционирует и переходит в стадию замкнутого фитоценоза. Отмечается, что в растительном покрове доминирует таежное крупнотравье: бодяк разнолистный, володушка золотистая, аконит высокий, папоротник женский, вейник Лангсдорф и другие виды, местами встречается ежа сборная. В результате эволюции фитоценоза формируется осиново-березовый лес с подлеском из черемухи, рябины, а также увеличивается возобновление пихты. Формируется разнотравно-злаковая растительность с таежным высокотравьем [36]. На стадии замкнутого фитоценоза увеличивается видовое разнообразие до 40 видов и в растительном покрове часто встречается зональная растительность [40].

Следует отметить особый вклад в исследование процессов почвообразования и экологического состояния техногенных ландшафтов Кузбасса В.М. Курачева, И.М. Гаджиева и В.А. Андроханова. Результаты многолетних исследований позволили разработать принципы и методы оценки почвенно-экологического состояния [41]. В основе почвенно-картографических исследований заложена профильно-генетическая классификация почв техногенных ландшафтов. В работе показана прямая

взаимосвязь сукцессий растительного покрова от развития почв техногенных ландшафтов. Установлено, что эдафические условия жизнедеятельности растений и почвенной биоты формируются на технологическом этапе формирования техногенных ландшафтов (рельеф, химический, агрохимический и физический составы корнеобитаемого слоя) и зависят от индивидуальных особенностей ландшафта [42]. В работе отмечается, что максимальную экологическую эффективность рекультивационных работ можно достигнуть только с сохранением и рациональным использованием природных ресурсов рекультивации [42]. Кроме того, в работе В.А. Андроханова, С.В. Овсянниковой, В.М. Курачева показаны наиболее эффективные технологии рекультивации земель с применением плодородного слоя почвы. Отмечается, что по мере развития растительного покрова и влияния биогенных факторов происходит постепенное восстановление свойств и режимов искусственных почв – техноземов [43].

Классификационные вопросы пригодности вскрышных и вмещающих пород отражены в многочисленных исследованиях. Так, в работе Ф.К. Рагим-Заде показаны результаты исследований минералогического и петрографического составов вскрышных и вмещающих пород техногенных ландшафтов Кузбасса, КАТЭКА и их почвообразующая значимость. Установлено, что за счет оптимального состава глинистого минерала (гидрослюдисто-монтмориллонитовый состав) достигается значительный уровень основных элементов питания для растений, лессовидные (карбонатные) суглинки являются ценной почвообразующей породой [30].

Исследования пригодности основных вскрышных пород для биологического освоения растениями также отражены в работе Моториной Л.В., Зайцева Г.А., Савича А.И., Чекалиной В.Н., Овчинникова В.А., Данилова И.Я. На основании результатов разработаны методические рекомендации для рекультивации земель, нарушенных предприятиями по добыче угля [44]. Аналогичные исследования по пригодности вскрышных пород для развития почвообразовательных процессов и растительного покрова на отвалах с

естественным восстановлением в разных природно-климатических районах Урала отражены в работе Махониной Г.И. [45].

Бекаревич Н.Е., Масюк Н.Т., Узбек И.Х. на основании многолетних исследований разработали технологические рекомендации по созданию техногенных почв (техноземов) разной мощности корнеобитаемого слоя с учетом пригодности пород для биологической рекультивации [46].

В работе Етеревской Л.В., Донченко М.Т., Лехциер Л.В. уделено внимание выращиванию многолетних трав [47].

Значительный вклад в восстановление техногенно нарушенных территорий в условиях Севера внесла Капелькина Л.П. [48, 49].

1.2.1 Эффективность биологической рекультивации нарушенных земель

В настоящее время вопросы восстановления техногенно нарушенных земель не потеряли актуальность, а, наоборот, в соответствии с приоритетными направлениями научно-технологического развития России, вопросы сохранения, рационального использования природных ресурсов и климатических изменений являются приоритетными научными исследованиями. Для решения таких значимых экологических вопросов рассматриваются разные подходы, методы и технологии для рекультивации земель.

Так, в работе А.Г. Тюрюкова показано положительное влияние проведения биологической рекультивации в экстремальных условиях севера (полуострова Ямал). Из исследований выявлено, что одновременный посев из травосмеси и внесение минеральных удобрений (NPK) 90 привело к увеличению проективного покрытия до 40 – 50 % и уже на третий год исследований наблюдалось увеличение биомассы растений до 9,5 ц/га. Также показано, что кострец безостый является адаптированным видом для биологической рекультивации в местных природно-климатических условиях [50]. Для условий севера (г. Салехард) показано благоприятное влияние

гидрогеля и использование минеральных удобрений на показатели влажности и развития многолетних трав. Результаты исследований свидетельствуют, что внесение высоких доз минеральных удобрений ($N_{150}P_{150}K_{150}$) и гидрогеля в песчаные субстраты, обеспечивающее отвальные грунты хорошими запасами питательных элементов и доступной влагой, способствуют развитию растительного покрова и увеличению морфометрических показателей в первые годы после внесения удобрений и гидрогеля [51].

Отмечается положительное влияние очагового способа восстановления нарушенных земель для отвалов горнодобывающих предприятий. Показано, что технология посева травосмесей из местных видов растений, внесение минеральных удобрений во впадины рельефа техногенных ландшафтов, микроорганизмов и мульчи из органических материалов способствуют ускоренному восстановлению фитоценозов, увеличению биомассы и видового разнообразия. Используемая технология описана в ГОСТ Р 57446 – 2017 [52]. Также для суровых условий Крайнего Севера была показана технология с применением биоматов, заполненных смесью из многолетних травосмесей, минерального удобрения и влагудерживающего вещества. Установлено, что данная технология является экологически безопасной и экономически эффективной в сравнении с традиционной технологией рекультивации земель (создание рекультивационного слоя из торфа) [53].

Для засушливых условий Юга Средней Сибири отмечен положительный опыт использования технологии формирования гребневого микрорельефа для биологической рекультивации очаговым способом. Корнеобитаемый слой на участках сформирован из потенциально плодородной породы и плодородного слоя почвы с разной формой рельефа (гребневый микрорельеф и выположенный). Установлено, что на участке с гребневым рельефом биомасса растений и содержание органического вещества выше в сравнении с участком, где рельеф был выположен. Показано, что на кинетику восстановления экологических функций почв прежде всего влияют содержание фракции физической глины и рельеф [54].

Положительный опыт рекультивации нарушенных территорий показан на отвалах медноколчеданного месторождения. Целью работы является закрепление отвалов с использованием аборигенных видов растений. Результаты полевых исследований следующие: использование георешетки, наполненной плодородным слоем почвы, и посевом травосмеси с естественных территорий эффективно закрепляет склоны отвалов и предотвращает эрозионные процессы. Установлено, что через два года исследований проективное покрытие растительностью составляет 100 % [55].

Положительный эффект наблюдается в использовании микробных препаратов при лесной рекультивации песчано-гравийных карьеров в Беларуси. Показано благоприятное влияние препаратов на содержание органического вещества и основных элементов питания в доступной форме для растений, выявлено улучшение эдафических условий и морфометрических показателей сеянцев сосны и ели [56].

В Кузбассе разработаны реставрационные технологии рекультивации нарушенных земель с использованием травяно-семенной смеси с естественных участков. Показано, что использование данной технологии по реконструкции фитоценозов на нарушенных территориях в условиях лесостепи Кузбасса формируются уже за 3 – 4 года лугово-степные сообщества со значительным видовым разнообразием (30 – 40 видов) и высоким проективным покрытием, что способствует увеличению видового разнообразия и восстановлению экосистемы [57 – 59].

Накоплен богатый опыт результатов исследований отечественных ученых в области лесной рекультивации земель, он отражен в многочисленных работах. Так, результаты исследований морфометрических показателей сосны обыкновенной, произрастающей на отвалах Кузбасса с нанесением на поверхность потенциально плодородного слоя почвы (ПСП) и без нанесения, показали, что на участках без нанесения на отвал слоя ПСП и с нанесением сосна обыкновенная показывает высокую устойчивость, особенно на участках без ППС. Установлено, что в сложных условиях отвала сосна

адаптируется и фиксируются изменения по увеличению длины хвои, её массы и других параметров [60].

Аналогичные исследования продуктивных 50-летних насаждений сосны обыкновенной на отвалах (Южно-Уральский лесостепной район) показали, что запас древесины на дражных отвалах сопоставим с запасами на вырубках, показано, что густота насаждений лесной культуры на участках рекультивации достигает от 1600 – 2433 штук на га. Отмечается, что сосна обыкновенная, использованная в качестве посадочного материала в лесохозяйственной рекультивации, в данных условиях является перспективной культурой [61].

Положительные эффекты были зафиксированы от сосновых насаждений на отвалах песчаных карьеров (Архангельская область). Результаты исследований продуктивности насаждений показали, что рекультивации земель (механическая обработка нарушенных земель, высадка сенцев сосны обыкновенной) способствует формированию высокопродуктивных сосновых насаждений. Установлено, что сосновые насаждения (возраст 34 года) имеют запас древесины 168 м³/га и высокую сохранность древесных культур – 57 % [62].

Аналогичные результаты были отмечены по приживаемости и росту саженцев сосны обыкновенной на экспериментальных площадках отвала при добыче песчано-гравийных смесей. Площадки представлены разными технологиями: 1 – посев клевера; 2 – внесение минеральных удобрений (аммиачной селитры); 3 – частичная рекультивация; 4 – рекультивация облепихой; 5 – формирование верхнего слоя из торфа 15 см. Установлено, что более благоприятные эдафические условия создаются при отсыпке корнеобитаемого слоя из торфа, отмечается высокая сохранность саженцев. Показано, что площадки, где мелиоративные мероприятия не проводились, для проведения лесной рекультивации не рекомендуются. Аналогичные результаты исследований участков рекультивации дражных отвалов также показали, что на приживаемость лесной культуры сосны обыкновенной влияет

качество почвогрунтов, а именно физические и агрохимические свойства [62, 63].

Положительный эффект получен от инокуляции растений азотфиксирующими растениями на отвалах горных работ и засоленных почвах. Показано, что инокуляция бактериями повышает рост и биомассу растений, увеличивается содержание азота (запасы азота на ~279 кг/га). Установлено, что при таком подходе повышается устойчивость к абиотическим и антропогенным факторам [64].

Результаты многолетних исследований (более 40 лет) на отвалах от добычи железной руды, песка и каолина (Румыния) показали, что использование для рекультивации нарушенных земель местных (аборигенных) видов растений (акация, сосна обыкновенная, ель обыкновенная) приводит к улучшению качества почвы, отмечается увеличение численности бактерий – под елью обыкновенной на 71,37 %, сосной обыкновенной на 67,50 % [65].

Аналогичные исследования также показывают, что использование аборигенных видов растений для восстановления пастбищ (США) приводит к ускорению формирования устойчивых растительных сообществ, сукцессии и местные виды растений эффективно конкурируют с инвазивными видами трав [66, 67].

Положительные свойства отмечаются при использовании многолетнего люпина как фитомелиоранта на агрохимические свойства грунтов песчаных карьеров и рост сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой (ЗКС). В результате исследований выявлено улучшение агрохимических и микроклиматических показателей грунтов местообитания сосны обыкновенной. Установлено, что посев (посадка) люпина на песчаных грунтах в рамках биологической рекультивации способствует улучшению физиологических и морфометрических параметров сеянцев сосны с закрытой корневой системой [68].

В исследованиях отечественных ученых России по использованию лесной культуры сосны обыкновенной в качестве посадочного материала отмечается не только положительный эффект, но и отрицательный, на который ученые обращают внимание.

Так, многолетний опыт использования лесных культур сосны обыкновенной и облепихи крушиновидной в качестве посадочного материала при выполнении лесной рекультивации показал проблемные моменты, такие как высокая густота насаждений, повышение горимости посадок, скудное видовое разнообразие. Установлено, что густота посадок лесных культур сокращает радиальный прирост, видовое разнообразие и способствует слабому развитию процессов почвообразования [69]. Отмечается, что созданные сосновые и облепиховые насаждения на отвалах Кузбасса после добычи угля являются аэональными и несут в себе только средообразующие и санитарно-защитные функции [70]. Кроме того, в исследованиях показано следующее: при посадке сосны обыкновенной как монокультуры формируются растительные сообщества с бедным видовым разнообразием, и отсутствует кормовая база для животных, что неблагоприятно сказывается на биологическом разнообразии [71].

Аналогичные исследования состояния лесных культур в Удмуртии на рекультивированных участках карьера после добычи песчано-гравийной смеси показывают следующее: созданные монокультуры сосны формируют неустойчивые экосистемы. Для устойчивого функционирования техногенных ландшафтов рекомендуется увеличивать ассортимент посадочного материала, использовать разные схемы посадки древесных культур и кустарников [72].

В исследованиях показана положительная роль облепихи крушиновой в лесной рекультивации техногенных ландшафтов Курской магнитной аномалии и в восстановлении почвенного покрова на нарушенных территориях. За 13-летний период функционирования нарушенных территорий под посадками облепихи улучшаются водно-физические свойства субстрата (плотность, порозность, гранулометрический состав), формируется

органогенный горизонт (за 17 лет в субстрате содержание гумуса увеличилось с 0,36 до 2,61 %) [73]. Также отмечается, что на 39-летних отвалах в субстрате под посадками облепихи фиксируется увеличение содержания гумуса в 2,8 раза, в 70 раз азота, отмечается высокая приживаемость. Установлено, что облепиха является эффективной породой для почвоулучшения при лесной рекультивации земель [74]. Кроме того, показана эффективность не только облепихи, но и других азотфиксирующих пород с целью создания защитных насаждений. Установлено, что, благодаря хорошей приживаемости и влиянию на почвообразование, такие культуры, как робиния и облепиха наиболее предпочтительны для создания устойчивых лесных насаждений [75].

Аналогичные исследования подтверждают положительные свойства облепихи крушиновидной для лесохозяйственного направления рекультивации земель для нарушенных территорий (Средне-Уральский район и отвалы отработанных карьеров в Кабардино-Балкарской Республике). Показано, что использование облепихи в качестве посадочного материала эффективно закрепляет откосы отвалов, предотвращает эрозию и дает ценную продукцию в виде облепихового масла. Установлено, что содержание масла в плодах составило 1,7 – 8,0 %, доля ненасыщенных жирных кислот – около 70 %. Виды нарушенных земель, активно зарастающих облепихой: золоотвалы, карьеры по добыче песка, глины, камня, дражные отвалы [76].

В настоящее время уделяется пристальное внимание восстановлению на техногенно нарушенных территориях биологического разнообразия [77]. Жизнедеятельность растительного покрова и биоценозов зависит от экологического состояния почвенного покрова. Как правило, верхний слой отвалов после добычи угля представлен хаотичной смесью из основных вскрышных и вмещающих пород и по своим физико-химическим свойствам существенно уступает свойствам естественной почвы. Как показывают исследования, создание верхнего, корнеобитаемого слоя из природных материалов (плодородный слой почвы, покровные суглинки, торф и другие материалы) улучшает развитие растительного покрова, способствует

увеличению видового разнообразия фитоценозов и экологических функций молодых почв. Качественный состав молодых почв на отвалах (физические свойства и обеспеченность элементами питания в доступной форме для растений) на начальном этапе функционирования почв играет значимую роль для жизнедеятельности растительного покрова [45].

Результаты исследований молодых почв – техноземов на отвалах Кузбасса (опытно-показательный полигон технологий рекультивации нарушенных земель) показали, что литогенный ресурс выше у техноземов, сформированных из потенциально-плодородного слоя почвы (ППСП) и плодородного слоя почвы (ПСП). Этот факт обусловлен благоприятными физическими и агрохимическими свойствами используемого материала. Наиболее значительным литогенным ресурсом для развития растительного и почвенного покрова обладает технозем гумусогенный (с отсыпкой плодородного слоя почвы). Данные молодые почвы имеют максимальное содержание гумуса до 3,6 % и элементов питания [78].

Результаты многочисленных исследований в части определения направленности процессов почвообразования в условиях техногенно нарушенных территорий показали, что почвенный покров молодых почв не всегда соответствует зональному почвообразованию. Это факт зависит от свойств почвообразующих пород, природно-климатических условий и рельефа поверхности техногенных ландшафтов. Исследования показывают, что чем ближе свойства молодых почв к свойствам почвообразующих пород, тем направленность почвообразования ближе к зональной. Отмечается, что почвенно-экологическая эффективность рекультивационных работ зависит от качества, наличия ресурсов рекультивации и их рационального использования при формировании корнеобитаемого слоя на поверхности отвалов [41, 79 – 85]. Исследованиями установлено, что чем продуктивнее формирование корнеобитаемого слоя из четвертичных отложений (потенциально плодородные породы), плодородного слоя почвы и благоприятного рельефа поверхности отвалов, тем лучше почвенно-экологическое состояние участков

после проведения рекультивации. Фиксируется активное развитие растительного покрова, показано, что на искусственных почвах-техноземах, сформированных из потенциально плодородных пород и плодородного слоя почвы проективное покрытие растениями может достигать 90 %, в верхнем горизонте почвенного профиля происходит постепенное накопление органического вещества, элементов питания и улучшается гидротермический режим молодых почв [84, 86 – 90]. Кроме того, технология создания искусственных почв (техноземов) на поверхности отвалов с использованием плодородного слоя почв позволяет реализовать цели сельскохозяйственного направления и достичь высокой почвенно-экологической эффективности рекультивации (ПЭР) земель с эффективностью 80 % и более [91].

Результаты исследования компонентов твердой фазы почвы показывают, что на процессы трансформации гранулометрического состава молодых почв на техногенных ландшафтах влияют геогенные факторы, плотность, литогенный состав, и тем самым определяют скорость дезинтеграции вскрышных пород и внутрипрофильную дифференциацию тонких фракций [92, 93].

Положительный опыт по изучению гидрологических свойств, трансформации элементов питания и развития растительного покрова (полевой эксперимент, г. Москва) отмечен в работах по созданию почвенных конструкций. На основании режимных наблюдений установлено, что скорость фильтрации в слоистых конструкциях на стыке слоев из разного материала снижается, а водооудерживающая способность увеличивается в следующем ряду: песок $\rightarrow$ смесь $\rightarrow A_{\text{пах.}}$ $\rightarrow$ торф. Также показано, что слоистые конструкции из торфа, песка и $A_{\text{пах.}}$ дольше сохраняют тепло и влияют на увеличение продуктивности растений. Отмечается, что уже в первый год исследований биомасса растений в слоистых конструкциях превышает в 1,5 – 3 раза, чем в других вариантах. Кроме того, показано, что слоистые конструкции почв влияют на изменение элементов питания и продуктивность травянистого покрова [94 – 97].

Результаты оценки факторов и условий, влияющих на развитие растительного покрова на молодых и средневозрастных участках техногенных отвалов, показали, что там, где корнеобитаемый слой сложен из каменистых осадочных пород, развиваются эмбриоземы инициальные с пионерной растительностью. На ровных участках среднего и старого возраста, где корнеобитаемый слой также сложен из каменистых осадочных пород, развиваются эмбриоземы органно-аккумулятивные с простой растительной группировкой, а на участках с мелкобугристым рельефом формируются древесные растения. На старовозрастных участках техногенных ландшафтов, где корнеобитаемый слой сложен из каменистого материала и рыхлых отложений, развиваются эмбриоземы дерновые и формируется сложная группировка растительных сообществ [98].

Положительные результаты, подтверждающие влияние литогенного состава вскрышных пород на развитие растительного покрова, получены на экспериментальных участках из разных вскрышных пород (бурый и серый песчаник, сланец, смешанные вскрышные породы). Установлено, что благоприятный состав бурого песчаника (рН, содержание фосфора в доступной форме) способствовал увеличению роста и развитию древесных растений (сомкнутость крон). Сильный нагрев на поверхности сланца ограничил продуктивность растений. А на сером песчанике зафиксировано наименьшее проективное покрытие крон [99].

Интересные исследования получены по определению запасов углерода ($C_{\text{пед.}}$, $C_{\text{несп.}}$, $C_{\text{ккорн.}}$, $C_{\text{нерг.}}$, $C_{\text{лит.}}$, $C_{\text{уг.}}$) на примере Горловского месторождения в Сибири. Установлено, что молодые почвы техногенных ландшафтов имеют не только высокие значения по запасам пула углерода, но и обладают повышенными возможностями его депонирования. Показано, что запасы пула углерода в молодых почвах изменяются в широком диапазоне (от 27,1 до 473,9 т/га), углерода (0 – 20 см). В работе отмечается, что для экологической безопасности функционирования техногенных ландшафтов и увеличения потенциала депонирования углерода молодыми почвами необходимо

формировать корнеобитаемый слой из рыхлых четвертичных отложений [100].

Для отвалов после добычи угля на Урале разработана классификация пород по пригодности, с учетом их физико-химических свойств для биологической рекультивации: пригодные, малопригодные, непригодные. Из исследований следует, что поверхностный слой большей части отвалов представлен малопригодными породами. На основании классификации вскрышных пород по пригодности были предложены модели и схемы рекультивации земель. В основу моделей, в зависимости от целей рекультивации, вошли такие мероприятия, как планировка поверхности, повторная планировка после стабилизационного периода, формирование корнеобитаемого слоя из пригодных плодородных пород (плодородный слой почвы и суглинки). Из проведенных исследований установлено, что отсыпка верхнего, корнеобитаемого слоя из плодородных пород ускоряет зарастание участков рекультивации растительным покровом и запускает процессы почвообразования. В работе показано, что при внесении пригодных пород только в посадочные лунки, корни растений в течение длительного периода не выходили за пределы благоприятного субстрата [101]. Также на основании многолетних результатов исследований установлено, что для восстановления устойчивого растительного покрова на отвалах Урала после добычи угля необходимо проводить комплексные мероприятия по рекультивации нарушенных земель, которые включают в себя технический этап рекультивации (планировка поверхности, обязательное перекрытие токсичных пород изоляционным слоем из пригодных пород, нанесение потенциально плодородного слоя) и биологический этап по осуществлению посева травосмесей на участках рекультивации, подбору и посадки устойчивых видов лесных культур, внесение рекомендуемых норм минеральных удобрений [102].

Положительный опыт показан на участках рекультивации золоотвала (Средний Урал), выявлено, что полосное нанесение глинистого субстрата на

поверхность отвала существенно сокращает сроки восстановления лесной экосистемы на 10 – 15 лет и формирует (за 40 – 45 лет) разные микоризные ассоциации (доля микоризных видов на участке рекультивации составляет 91,5 %, на участке без проведения рекультивационных работ – 80,0 %), тем самым улучшая жизнедеятельность растительных сообществ [103].

Опыт развития растительного и почвенного покрова на слоистых субстратах из погребенного плодородного слоя почвы и песка показал, что такой способ формирования верхнего, корнеобитаемого слоя на отвалах Курской магнитной аномалии позволяет улучшить агрохимические, физические и водно-физические свойства почв (запасы продуктивной влаги при слоистой технологии в 8 раз выше, чем при поверхностном, сплошном нанесении плодородного слоя почвы, наблюдается увеличение запасов гумуса и элементов питания в почвенном профиле). Также установлено улучшение морфометрических показателей и приживаемости сосны обыкновенной. В целом, результаты многолетних исследований по развитию лесных культур на отвалах Курской магнитной аномалии показали, что корнеобитаемый слой, сформированный из песка гидроотвала, без проведения рекультивационных мероприятий по улучшению лесорастительных условий не пригоден для выращивания лесных насаждений. Рыхлую вскрышу из песчано-меловых субстратов в качестве корнеобитаемого слоя возможно использовать для создания лесозащитных полос, песчаные субстраты гидроотвала для выращивания лесных культур использовать возможно, но только после улучшения качества субстратов путем создания на поверхности искусственных почв – техноземов из плодородного слоя почвы и потенциально плодородных пород [104]. Оценена эффективность создания насаждений как на исходных субстратах, так и на двухкомпонентных техноземах (с нанесением плодородного слоя). Также установлены наиболее перспективные виды лесных культур для рекультивации земель [105].

Из результатов исследований лесных насаждений в условиях гидроотвала следует, что на приживаемость лесных культур на техноземах (с

использованием плодородного слоя почвы) существенно влияет экспозиция склона. Показано, что для создания устойчивых и долговечных защитных лесных полос на техногенно нарушенных территориях пригодна только робиния лжеакация. Отмечено, что такие культуры как тополь и рябина не формируют устойчивых насаждений [105].

Аналогичные исследования по эффективности лесной рекультивации на Урале показали, что активное восстановление лесных насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) фиксируется на почвогрунтах из плодородного слоя почвы (0,25 – 0,3 м) или из смеси с органическим материалом (торфопесчаником), также установлено, что такие культуры как облепиха, береза и ива благоприятно влияют на почвообразовательные процессы [106].

Результаты исследований оценки эффективности технологий (приживаемость лесных культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и березы повислой (*Betula pendula*)) для биологической рекультивации земель на отвалах после добычи угля в Кузбассе показали, что лучшая приживаемость культур выявлена на рекультивированных участках, где корнеобитаемый слой был сформирован из плодородного слоя почвы и суглинка. Показано, что использование для биологической рекультивации многоярусных насаждений является эффективным методом восстановления земель [107].

Исследования нарушенных территорий (шламонакопители из фосфогипса) также показывают значимую роль рекультивационных мероприятий в восстановлении устойчивого растительного покрова, а именно создание верхнего, рекультивационного слоя в виде «пирога» из потенциально плодородных пород, смеси глинистого материала, фосфогипса и покрытия сверху плодородным слоем почвы; кроме того, правильный подбор лесных культур, кустарников и травосмесей [108]. Аналогичные региональные исследования восстановления нарушенных земель (золоотвалы в Свердловской области) показывают, что рекультивационные мероприятия по отсыпке почвогрунтом мощностью 25 – 30 см на поверхность золоотвалов и

посадке сосны способствовали формированию сосновых насаждений с запасом древесины – 290 м³/га и хорошими морфометрическими параметрами [109].

В исследованиях С.И. Мироновой отмечен положительный опыт рекультивации отвалов пустых пород в Якутии. Показано, что биологическая рекультивация с формированием рекультивационного слоя из потенциально плодородных пород, посевом травосмесей и посадкой древесных и кустарниковых пород, а также внесением минеральных удобрений в условиях Якутии эффективна. В работе отмечено, что такой подход ускоряет процессы восстановления растительного покрова в сравнении с участками без проведения рекультивации земель [110].

Результаты рекультивации нарушенных земель с токсичными отходами в Дальневосточном округе с использованием природных материалов из корокомпоста на основе измельченной коры ели, березы, лиственницы в разном соотношении показали, что внесение смешанного корокомпоста (30 %) под бобово-злаковую смесь способствовало высокой всхожести и продуктивности растительного покрова. Предложенная технология биоремедиации для рекультивации земель является эффективной и экологически безопасной [111].

Результаты исследований состава микробиома (отвалы южной тайги в Северо-Западной части РФ) показывают, что на ранней стадии почвообразования темпы восстановления почвенного покрова и состава микробиома зависят от литологического состава почвообразующей породы, климатических условий и фитоценоза [112]. В аналогичных исследованиях субстратов молодых карьеров (республика Башкортостан) выявлено отсутствие признаков самовосстановления почвенного покрова и незначительная плодородность субстрата (содержание органического углерода 0,9 %). В сравнении с фоном микробное сообщество отличается, установлено снижение многих типов бактерий [113].

Результаты исследований процессов почвообразования самозарастающих отвалов (добыча известняка и глин в районе г. Ухта, в условиях северной тайги) показывают, что карбонатные материалы карьера более благоприятно влияют на развитие микробиома, чем глинистые материалы. Установлено, что зональная направленность почвообразования проявляется незначительно, и к 20 – 30-летнему периоду профиль зональных почв не формируется, это обусловлено недостаточным потенциалом природно-климатических условий для ускоренного восстановления почв [114].

Исследовано влияния разных фитоценозов на разнообразие почвенных микроорганизмов (в слое 0 – 30 см) на нарушенных территориях в условиях шахты Далюта (на лёссовом плато). Установлено, что высаженные древесные культуры способствуют увеличению разнообразной почвенной биоты (грибы и бактерии в слое ризосферы) в сравнении со злаковой растительностью. Показано, что микробное разнообразие влияет на содержание в почве общего азота, фосфора, а также фосфора в доступной форме для фитоценозов и влажности почвы. В то же время микробный состав и его разнообразие зависят от времени освоения субстратов. Выявлено, что содержание органического вещества и общего азота влияют на сукцессию микробиома в почвах [115, 116].

Результаты исследований добавления микробиологического раствора в загрязненные токсичными элементами почвы угольных шахт (Китай) показывают снижение токсичных элементов, установлено, что микробиологический препарат хорошо преобразовывает подвижные формы никеля, хрома, марганца в связанные формы, что снижает воздействие токсичных элементов на живые организмы [117].

1.2.2 Самовосстановление техногенно нарушенных территорий

Для природно-климатических условий Крайнего Севера изучены процессы самозарастания нарушенных земель и перспективы биологической

рекультивации. На основании результатов исследований показано, что процесс самозарастания на отвалах и хвостохранилищах протекает медленно. Результаты картирования растительного и почвенного покрова позволили определить перспективные виды местных растений для рекультивации земель в данных условиях, такие как лиственница, кедровый стланик, ольха, злаки [118].

Аналогичные исследования были проведены для карьеров из песчаных и супесчаных пород в Республике Коми. Результаты сравнительного анализа восстановления растительного и почвенного покрова показали, что самовосстановление хвойных пород на супесчаных субстратах неудовлетворительное (менее 0,2 тысяч штук на га). Установлено, что проведение рекультивация лесохозяйственного направления (высадка лесных культур сосны и ели) является обязательным мероприятием, а внесение органического материала – торфа улучшает видовое разнообразие и активность процессов почвообразования [119].

В исследованиях техногенных отвалов (никелевые рудники, Северный Казахстан) показано, что восстановление растительного покрова на разновозрастных отвалах формируется от сорно-рудеральных (4 – 6 лет) к злаково-разнотравным (11 – 36 лет) сообществам, также отмечено, что зарастание проходит медленно. В растительных сообществах присутствуют группы со значительной долей адвентивных видов растений. Показано, что скорость восстановления фитоценозов и направленность сукцессии зависит от качества субстрата, а именно от физических, химических свойств и природно-климатических условий [120, 121].

Исследования процессов естественного самозарастания на старовозрастных отвалах Среднего Урала после добычи известняка и доломита показали, что восстановление растительности идет по лесному типу и уже к 50 годам формируются смешанные леса с участием ели и лиственницы. Установлено следующее: на молодых отвалах присутствует значительная доля чужеродных (адвентивных) видов. Результаты исследований таковы: на

восстановление растительного покрова влияют антропогенные нарушения и эдафические условия [122].

1.2.3 Эффективность использования отходов производства для рекультивации земель

В связи с функционированием предприятий по добыче угля и его переработки образуются отходы производства и потребления. Только в 2024 г. на территории России образовалось 8514,7 млн т отходов производства и потребления. В соответствии с основными видами экономической деятельности «Добыча полезных ископаемых» в 2024 г. объемы отходов производств и потребления составляют 7882079,0 тыс. т. Объемы утилизированных отходов производства и потребления в 2024 г. составили 3079,9 млн т, что составило всего 36,2 % от всех отходов. Значительное количество объемов, транспортируемых на хранение отходов, отмечается на предприятиях угледобывающей и перерабатывающей отрасли (3589643,3 млн т); количество объемов отходов для размещения на объектах захоронения составляет 1397,6 млн т [123].

Количество образованных отходов производства и потребления по Сибирскому федеральному округу в 2024 г. составило 4756,447 млн т, наибольший вклад в образовании отходов вносит Кемеровская область – Кузбасс [123].

Действующий Закон Российской Федерации «О недрах» устанавливает максимальное извлечение полезных ископаемых из недр Земли и их комплексное, рациональное использования, а также указано о необходимости обеспечения охраны разрабатываемых месторождений полезных ископаемых [124]. В Федеральном Законе «Об отходах производства и потребления» дано четкое определение отходам производства и потребления [125]. Показано, что отходы производства и потребления от предприятий по добыче угля и его переработки могут содержать в себе ряд ценных компонентов и быть

источником для разных индустриальных отраслей производства, в том числе для рекультивации земель [125].

Накопленные отходы производства и потребления от деятельности предприятий могут рассматриваться как техногенные грунты, техногенные месторождения, вторичные ресурсы, техногенные минеральные ресурсы и техногенные ресурсы. Под техногенными грунтами понимаются искусственные грунты, образованные в результате деятельности промышленных предприятий и других видов экономической деятельности человека [126]. Техногенные грунты различаются по видам.

К.Н. Трубецкой к отходам предприятий по добыче и переработке угля использовал понятие «техногенное месторождение», который ввел отечественный ученый Н.В. Мельников. К техногенным месторождениям можно отнести отвалы промышленных предприятий, хвостохранилище отходов углеобогащения, золошлаковые отходы и другие объекты [127].

В своих работах В.П. Березовский отмечал, что основным критерием, который отличает отходы, вторичные ресурсов и другие техногенные ресурсы, является возможность повторно их использовать с учетом существующей техники и технологий. А именно, отходы, которые имеют определенный потенциал для их использования в разных отраслях народного хозяйства, в том числе и для рекультивации земель [127].

В настоящее время накоплен большой научно-практический опыт с использованием вторичных или техногенных ресурсов для рекультивации земель. Так, для отвалов пустых пород на алмазном карьере «Айхал» в условиях Якутии исследована биологическая рекультивация. Показана эффективность семи способов, включая применение старики (сухой травы), гидропосева и осадков канализационных очистных сооружений (КОС). Установлено, что наиболее эффективными и приемлемыми для промышленного применения являются способы использования старики и осадков очистных сооружений. Показано, что применение старики на второй год исследований позволило получить проективное покрытие травостоя в 50 –

80 %. Расчет антропогенной нагрузки от пыления отвалов при использовании старики показал снижение на 27 % за 3 года и на 50 % за 5 лет [128].

Аналогичные результаты исследований использования осадков сточных вод для создания рекультивационного слоя, в смесях с песком или отходов лесопромышленного комплекса (смесь коры и опилок, опилок хвойных пород) показали, что данные отходы улучшают физико-химические свойства субстрата (плотность, порозность и структуру). Благоприятное содержание органического вещества и элементов питания активизирует биологическую активность в субстрате, что обуславливает активный рост растений, увеличение биомассы, хорошую приживаемость саженцев на участках рекультивации [129 – 132]. Отмечается, что при внесении ОСВ в субстрат отвалов карьеров, хвостохранилищ в дозах 30 и 60 т/га происходит увеличение хлорофилла в растениях, однако при внесении больших доз замедляется рост растений [132]. А в субстрате с использованием осадков сточных вод (60 %) и смеси коры с опилками (40 %) улучшается всхожесть тест-культур и их морфометрические показатели [133, 134].

Оценка эффективности создания террас с высадкой лесных культур березы и сосны обыкновенной в почвогрунт из осадков сточных вод для закрепления склонов техногенных отвалов показала высокие экологические результаты проведенных мероприятий. Отмечено, что за 24 года фиксируется хорошая густота древостоя (от 214 до 1719 штук на гектар). Анализ результатов исследований по приживаемости лесных культур показал, что формирование почвогрунта из осадков сточных вод существенно улучшит приживаемость культур, а также целесообразно высаживать кустарники – ракитник, облепиху и жимолость [135].

Капелькина Л.П. в своей работе отмечает, что использование осадков сточных вод (ОСВ) для улучшения свойств субстрата отвалов при лесной рекультивации земель и развития растений является перспективным малиорантом [136]. Аналогичные исследования были проведены на отходах угольного разреза (северо-запад Китая), установлено, что только проведение

комплексной рекультивации земель, а именно внесение органических мелиорантов, влагоудерживающих материалов, минеральных удобрений с посадкой растительности приводит к улучшению питания и увеличению биомассы растений. Такой подход к рекультивации земель считается наиболее эффективным, нежели естественное восстановление нарушенных территорий [137]. Кроме того, установлено, что мелиорация нарушенных земель (грунты после открытых горных работ, возраст отвалов – 4 года) может существенным образом повысить содержание лабильного органического углерода в грунтах. Показано, что высаживание растений и использование разнообразных многоуровневых посадочных схем с высокой долей аборигенных видов на нарушенных землях, сохранение природной почвенной биоты и внесение минеральных удобрений в грунты способствует увеличению лабильного органического углерода и восстановлению природной среды [138].

Для рекультивации техногенно нарушенных земель (полигон с фосфогипсом) в качестве рекультивационного слоя использовался почвогрунт из осадков сточных вод и песок. Показано, что смесь почвогрунта в соотношении 1:1 или 2:1 способствовала активному формированию растительного покрова и приживаемости лесных культур на участках полигона [139].

Положительные результаты исследований по восстановлению растительного покрова с использованием техногенных ресурсов в качестве добавки в субстрат техногенных ландшафтов показаны в разных исследованиях [140].

Так, результаты исследования использования окисленного (выветренного) угля как добавку в субстрат отвалов и получения гуминовых кислот показали, что добавка в виде окисленного угля (включая рыхление субстрата) улучшает физические свойства (плотность, структуру) и активизирует рост растений, а гуминовый препарат благоприятно влияет на развитие корневой системы растений [141, 142].

Положительный опыт получен от использования смеси из отходов угледобывающей промышленности и древесных опилок (в соотношении 1,0:0,2 и 0,8:0,1) и посева травосмесей (овсяница, житняк, донник). Показано, что после предварительной обработки травосмеси препаратом гуминовых кислот и их совместное внесение с отходами угледобывающей промышленности в субстрат отвала активизируется всхожесть семян, улучшается рост растений и увеличивается влажность субстрата. Установлено увеличение сапрофитных бактерий и азотобактера [143].

Для рекультивации нарушенных земель разработаны составы почвосмесей на основе техногенных отходов. В составе смесей использованы отходы железной руды, цитрогипс, глина, песок, диатомит, а также органический материал (биокомпост). На основании результатов фитотестирования следует, что смеси не обладают токсичностью и пригодны для биологической рекультивации. Установлено, что по урожайности составы почвосмесей превосходят естественные почвы – черноземы (контрольный вариант) [144].

Положительные результаты получены в результате применения золошлаковых отходов для биологической рекультивации, показано, что при совместном использовании золошлаковых материалов, внесения минеральных удобрений (NPK) и биопрепаратов (*Azotobacter*) фиксируются хорошие результаты фитотестирования (всхожесть овса – 95 %; клевера – 75 %). Также, в работе отмечено, что золошлаковые материалы можно отнести к V классу опасности с содержанием полезных элементов для развития растений – кремний, алюминий, железо, калий и фосфор [145].

Аналогичные исследования показывают, что создания почвогрунтов на основе золошлаковых материалов, бурых углей и окисленных каменных углей для биологической рекультивации в соотношении 1 (уголь):1 (золошлаковые материалы) улучшает всхожесть тест-культур и морфометрические показатели. Внесение 10 % почвогрунта на основе смеси углей и

золошлаковых материалов в породы отвалов обеспечивает увеличение всхожести семян и развитие корневой системы [146, 147].

Положительные результаты исследований представлены при применении золы угольных ТЭС и осадков сточных вод для рекультивации земель (на кислых и сельскохозяйственных почвах, отвалах бокситовых рудников в Греции; почвенных конструкциях на отвалах Китая). Показано, что комплексное внесение золы и осадков сточных в кислую почву обеспечило повышение урожая пшеницы (71 %) и органического веществ, а также элементов питания и кислотности почвы. Нанесение осадков сточных вод на отвалы для создания почвенных конструкций также со временем привело к увеличению содержания органического вещества, доступного фосфора, бора для растений и удалось нейтрализовать pH. Такие культуры, как сосна и олеандра, успешно себя зарекомендовали для восстановления лесных сообществ [148].

Таким образом, анализ научных источников показал, что в многочисленных исследованиях отражены разные подходы и технологии восстановления техногенно нарушенных территорий. Выявлено, что только комплексный подход к рекультивации земель (создание корнеобитаемого слоя из литогенных ресурсов (плодородного слоя почвы, потенциально плодородных слоев и потенциально плодородных пород (покровных суглинков), торфа и других материалов; внесение минеральных удобрений и микроорганизмов; использование местных (аборигенных) видов растений и травосмесей; формирование благоприятного техногенного рельефа) будет способствовать ускоренному восстановлению растительного покрова и увеличению видового разнообразия, в том числе развитию почвообразования.

В исследованиях показано, что на поверхности рекультивированных участков, где сформированы искусственные почвы – техноземы из литогенных ресурсов, торфа в послойном или смешанном видах, почвенно-экологическая эффективность рекультивации земель высокая и может достигать 80 – 90 % по отношению к естественным почвам. По мере развития

растительности и влияния биогенных факторов, происходит постепенное восстановление экологических свойств и режимов молодых почв техногенных ландшафтов. Со временем рекультивированные участки при использовании комплексного экологического подхода могут иметь отличное и хорошее почвенно-экологическое состояние и по своим почвенным свойствам будут приближены к свойствам естественных, ненарушенных почв.

Сохранить, рационально использовать ценные литогенные ресурсы для создания искусственных почв – техноземов, сформировать благоприятные формы рельефа на поверхности техногенных ландшафтов возможно только на этапе ведения горных работ.

Между тем, оценивая районы по природно-климатическим, геологическим, геоморфологическим условиям, необходимо отметить тот факт, что на определенных территориях разных регионов страны имеется дефицит как ПСП, так и ППП (покровных суглинков). Кроме того, после завершения работ на предприятиях по добыче угля остаются значительные площади выработанного пространства. При решении вопросов заполнения карьерных выработок, оставшихся после ведения горных работ предприятиями по добыче угля, для создания безопасного, устойчивого ландшафта и возврата нарушенных территорий в повторное использование, возникает дефицит материалов. Такой дефицит можно компенсировать техногенными ресурсами, например, отходами углеобогащения.

В настоящее время отходы углеобогащения активно размещают как в выработанных пространствах, так и на поверхности. В соответствии с приказом Росприроднадзора (№ 242 от 22 мая 2017 г.) «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов» свежие отходы углеобогащения относятся в V классу опасности, являются безвредными и неопасными для окружающей среды. Однако М.А. Пашкевич отмечает, что накопленные техногенные отходы со временем могут оказывать влияние на природную среду [149].

Таким образом, несмотря на многочисленные исследования в области рекультивации земель, комплексных научных изысканий по обоснованию экологически эффективных решений проблемы восполнения недостатка природных (литогенных) ресурсов для рекультивации нарушенных земель и рационального использования техногенных ресурсов для создания устойчивого, экологически безопасного ландшафта на предприятиях по добыче и переработке углей Кузбасса, расположенных в разных природно-климатических, геологических районах, с возможностью использования собственных ресурсов предприятий в экономике замкнутого цикла производства практически не проводилось.

Глава 2 Методология, методы и объекты исследований

2.1 Методология и методы исследований

В основе научных исследований по обоснованию использования пород, отходов углеобогащения в качестве ресурсов для рекультивации земель (восполнения недостатка ПСП и материалов для создания устойчивого, экологически безопасного рельефа выработанного пространства) лежат лабораторные и полевые исследования основных вскрышных и вмещающих пород, отходов углеобогащения и искусственных почв (техноземов, эмбриоземов) с учетом влияния природно-климатических и литогенных факторов на развитие растительного и почвенного покрова.

Образцы вскрышных и вмещающих пород, отходов углеобогащения, техноземов и эмбриоземов исследовали в аналитических лабораториях СибГИУ, ИПА СО РАН, в аккредитованных лабораториях АО «ЗСИЦ», в лабораториях НИОХ СО РАН.

Для изучения образцов вскрышных и вмещающих пород, отходов углеобогащения, техноземов и эмбриоземов в лабораторных и полевых условиях были использованы следующие методы: спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, атомно-эмиссионной, атомно-абсорбционной спектрометрии, фотометрии, потенциометрии, кондуктометрии, гравиметрии.

Исследуемые вскрышные породы отбирались в соответствии с ПНД Ф 12.4.2.1 – 99 «Отходы минерального происхождения. Рекомендации по отбору и подготовке проб. Общие положения», почвенного покрова в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02 – 2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа». Содержание органического углерода в породах, отходах и техноземах определялось методом определения органического вещества по ГОСТ 26213 – 2021; подвижные соединения фосфора и калия – методом Чирикова в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26204 – 91; ёмкость катионного обмена – методом Бобко-Аскинази-Алешина в модификации ЦИНАО по ГОСТ

17.4.4.01 – 84 (п. 4.1); азот общий – методом определения общего азота по ГОСТ Р 58596 – 2019; водородный показатель (рН в водной вытяжке) – по ГОСТ 26423 – 85 и общая сумма растворимых веществ в воде (сухой остаток) и сумма токсичных солей по ГОСТ 17.5.4.02 – 84. Содержание общего углерода в отходах углеобогащения определялось с использованием анализатора ELTRA CHS 580. Элементный состав изучался методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, для определения массовых долей подвижных форм металлов применялся атомно-эмиссионный метод с атомизацией в индуктивно-связанной аргоновой плазме. Для определения токсичного (мутагенного) эффекта пород, отходов, техноземах использовались методы биотестирования с разными тест-объектами: определение токсичности с использованием в качестве тест-объекта ракообразных *Daphnia magna* Straus и водорослей *Scenedesmus quadricauda*. Минеральный состав пород изучался под стереомикроскопом ЛабоСтеми-4 зум, а также в отраженном и проходящем свете под микроскопом ЛабоПол-2 РПО. Краевой угол смачивания определялся методом статической капли на DSA100.

Физические свойства техноземов и эмбриоземов в полевых условиях определялись общепринятыми методами: гранулометрический состав техногенных почв – пипеточным методом с диспергацией пирофосфатом натрия по Робинсону – Кону по ГОСТ 12536 – 2014; плотность сложения естественных почв определялась буром Качинского, плотность в каменистых техноземах и эмбриоземах – песчаным методом, разработанным Ф.Р. Зайдельманом; твердая фаза почвы определялась пикнометрическим методом; фракционный анализ состава почвы в воздушно-сухом состоянии (сухое просеивание) выполнялся методом Н.И. Савинова. Влажность почв определялась в соответствии с ГОСТ 28268 – 89 «Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений». Для определения подвижности влаги в техноземах и эмбриоземах использовалась шкала, предложенная А. А. Роде.

Средняя плотность вскрышных пород определялась по ГОСТ 8269.0 – 97, пункт 4.16.1).

Исследования теплового режима в техноземах, эмбриоземах и естественных почвах проводились с использованием портативных датчиков температурного режима «Термохрон», которые устанавливались на разных глубинах в техноземах, эмбриоземах и естественных почвах.

Для определения типовой принадлежности техноземов и эмбриоземов в работе использовалась профильно-генетическая классификация почв техногенных ландшафтов. В схеме профильно-генетической классификации почв техногенных ландшафтов выделяются несколько классов: элювиоземы литогенно-неразвитые, эмбриоземы биогенно-неразвитые и техноземы. Тип почв в соответствии с профильно-генетической классификацией определяется по морфологическим признакам, а именно по определенному типодиагностическому горизонту и отражает развитие органно-аккумулятивного, дернового и гумусово-аккумулятивного почвообразовательных процессов в почвах [150 – 152]. В данной работе рассмотрены эмбриоземы биогенно неразвитые и техноземы. Данные почвы различаются по морфологическим признакам и происхождению биогенных горизонтов: для инициальных эмбриоземов характерно отсутствие макроморфологических признаков дифференциации почвенного профиля на горизонты; в органно-аккумулятивных горизонтах всегда диагностируется горизонт подстилки (травянистого и/или древесного происхождения); в дерновом эмбриоземе всегда имеется дерновый горизонт, а в гумусово-аккумулятивном – гумусово-аккумулятивный горизонт [150 – 152].

Техноземы – это новые, искусственно созданные техногенные почвы, где корнеобитаемый слой сформирован из разных материалов на поверхности техногенных ландшафтов. В техноземах выделяются разные типы молодых почв, они обусловлены вещественным составом корнеобитаемого слоя: гумусогенные (корнеобитаемый слой сложен из плодородного слоя почвы); органогенные (корнеобитаемый слой сложен из органического материала –

торфа, осадков сточных вод и других материалов); литогенные (корнеобитаемый слой сформирован из потенциально плодородной породы (покровные суглинки); модифицированные (корнеобитаемый слой сложен из техногенного материала с применением мелиорантов и почвоулучшителей) [42]. Технологическая особенность формирования техноземов имеет классификационную значимость, а именно техноземы могут быть дифференцированными или недифференцированными. Следует отметить особенность трансформации техноземов под воздействием почвообразовательных процессов: если территории с техноземами находятся в сельскохозяйственной или какой другой обработке, то морфологические горизонты с течением времени не формируются. Однако, если эти территории не используются человеком в какой-либо деятельности, то происходит трансформация почв с морфологически выделяемыми типодиагностическими горизонтами и техноземы трансформируются в эмбриоземы биогенно-неразвитые [42].

Для детального картографирования молодых почв были заложены площадки размером 10×10 м. По результатам данного метода определялась площадь каждого типа почв в соответствии с профилно-генетической классификацией почв техногенных ландшафтов и доля исследуемых почв от всей площади участка. Оценка почвенно-экологического состояния молодых почв техногенных ландшафтов осуществляется на основе картографирования почвенного покрова в соответствии с профилно-генетической классификацией почв техногенных ландшафтов [151, 152]. Почвенно-экологическое состояние участков рассчитывалось в соответствии с методическими рекомендациями по проведению почвенно-экологического обследования техногенно нарушенных территорий.

С целью мониторинга состояния формирующегося растительного покрова были проведены геоботанические описания на учетных площадках в однократной повторности размером 10×10 м (в 2021 – 2025 гг.), на которых проведен учет видового состава с оценкой обилия каждого вида по

стандартной методике [153]. В результате регулярных обследований экспериментальных участков экологического полигона посредством стандартного метода (метод геоботанических описаний), были составлены флористические списки по каждому году. Для их сравнения был использован коэффициент сходства Жаккара [154]. В результате расчета значений коэффициента сходства Жаккара, было получены две симметричные матрицы сходства (по данным 2024 и 2025 гг. соответственно), в которых отражены коэффициенты сходства для каждой пары сравниваемых участков. На основе полученных матриц с использованием программы Statistica 6 for Windows были построены дендриты сходства исследованных участков по годам.

В отходах углеобогащения и техноземах определяли 19 индивидуальных полициклических ароматических углеводородов, которые входят в список Европейского союза, а также Агентства по охране окружающей среды США [155].

В работе проводился кластерный анализ с использованием коэффициента сходства Жаккара. При этом применялся метод парных групп. Для выявления полициклических ароматических углеводородов в экстрактах исследуемых образцов применялся метод главных компонент.

Количественные измерения запасов углерода в пуле надземной, подземной биомассе и техноземах на экспериментальных участках полигона в соответствии с методикой [150].

Статистическая обработка данных проводилась при помощи пакетов программ PAST V2.17., Statistica 6 for Windows.

2.2 Объекты исследования

Для проведения апробации в полевых условиях использования литогенных и техногенных ресурсов для рекультивации земель были созданы экспериментальные участки на внешних отвалах. В соответствии с эколого-географическим районированием научные исследования приводили в двух подзонах Кузбасса: в горно-таежной подзоне Кузбасса на территориях АО

«Разрез Распадский» (г. Междуреченск), филиала АО «УК» «Кузбассразрезуголь» «Калтанский угольный разрез») (г. Осинники) и лесостепной подзоне на участках поверхности внутренних отвалов, заполненных отходами углеобогащения (г. Ленинск-Кузнецкий). Исследования осуществляли с 2013 по 2025 гг.

Экологический полигон АО «Разрез Распадский»

Для проведения в полевых условиях апробации был создан экологический полигон (далее – полигон) с экспериментальными участками. На полигоне заложено 10 экспериментальных участков (участки размером 50×50 м), на каждом участке созданы мониторинговые площадки в трехкратной повторности (размером 10×10 м) (рисунок 2.1).

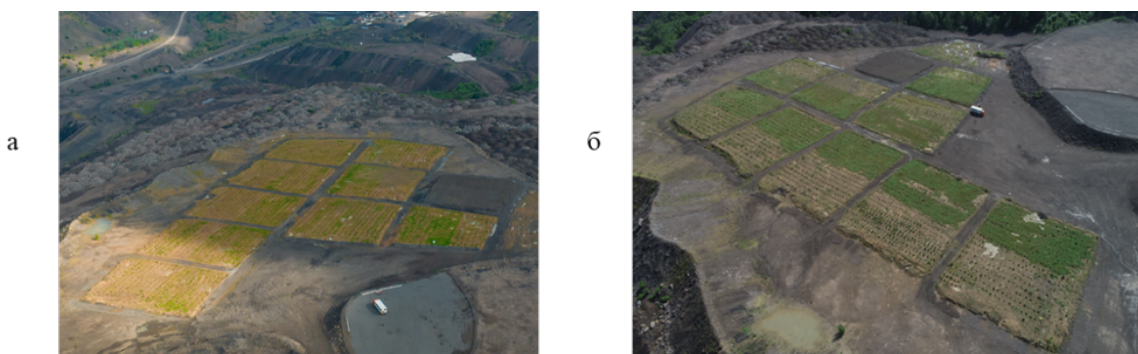


Рисунок 2.1 – Экологический полигон: а и б – 2024 и 2025 гг.

Участки № 1 – 8/T1 – 8 сложены из ППП (четвертичные отложения II категории из смеси суглинков с включением слабоокатанной гальки, щебня коренных пород и выветрелого песчаника); участок № 9/T9 сформирован из смеси ПСП и ППП (четвертичные отложения I категории из покровных суглинков); участок № 10/T10 сформирован из обломков основных вскрышных пород песчаников, аргиллитов и алевролитов различного диаметра. В соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов на участках рекультивации представлены следующие участки: №№ 1 – 8 – техноземы литогенные недифференцированные (техноземы литогенные, ТЛ); № 9 – техноземы гумусогенные недифференцированные (техноземы гумусогенные ТГН); № 10 – эмбриоземы инициальные (ЭИ). Мощность корнеобитаемого слоя на участках полигона изменяется от 1,0 до 1,5 м. Также на полигоне заложен

экспериментальный участок № 11 микроделяночным способом из смеси суглинков с включением слабоокатанной гальки, щебня коренных пород и выветрелого песчаника четвертичных отложений и почвоулучшителя (смесь из золошлаковых материалов и окисленных каменных углей). В соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов участок представлен техноземом модифицированным (ТМ). Площадь экспериментальной деланки 2×2 м. Для выявления наиболее перспективных растений в данных условиях перед проведением эксперимента на основе геоботанического описания были выбраны разные виды растений и схемы посадки. В 2023 г. на полигоне высажено около 6000 растений разного видового состава с закрытой корневой системой и был проведен посев клевера и мятлика.

В 2023 г. на полигоне высажено около 6000 растений разного видового состава с закрытой корневой системой.

Для выявления наиболее перспективных растений в данных условиях (природно-климатическая особенность территории, состав рекультивационного, корнеобитаемого слоя, рельеф) перед проведением эксперимента на основе геоботанического описания были выбраны разные виды растений (таблица 2.1). Также при выборе видов лесных культур и схем их посадки использовались методические рекомендации и научные публикации [57, 156].

Таблица 2.1 – Лесные культуры, высаженные на экологическом полигоне

№ участка	Искусственные почвы почвы – техноземы	Лесные культуры
1	Технозем литогенный (смесь суглинков с включением слабоокатанной гальки, щебня коренных пород и выветрелого песчаника, четвертичные отложения II категории)	лиственница сибирская (<i>Larix sibirica</i>) и ель обыкновенная (<i>Picea abies</i>)
2		сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>) и лиственница сибирская (<i>Larix sibirica</i>)
3		ель обыкновенная (<i>Picea abies</i>) и сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)
6		Карбоновая высокоуглеродная ель обыкновенная (<i>Picea abies</i>), пихта сибирская (<i>Abies sibirica</i>) и сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)
7		сосна сибирская (<i>Pinus sibirica</i>), пихта сибирская (<i>Abies sibirica</i>), лиственница сибирская (<i>Larix sibirica</i>) и береза пушистая (<i>Betula pubescens</i>)

Продолжение таблицы 2.1

№ участка	Искусственные почвы почвы – техноземы	Лесные культуры
10	Эмбриозем инициальный (смесь песчаников, аргиллитов и алевролитов)	сосна сибирская (<i>Pinus sibirica</i>), ель обыкновенная (<i>Picea abies</i>) и сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)
4	Технозем литогенный (смесь суглинков с включением слабоокатанной гальки, щебня коренных пород и выветрелого песчаника, четвертичные отложения четвертичные отложения II категории)	Липовый остров «хвойный»: липа сердцевидная (<i>Tilia cordata</i>), пихта сибирская (<i>Abies sibirica</i>) и сосна сибирская (<i>Pinus sibirica</i>)
5		Липовый остров «лиственный»: липа сердцевидная (<i>Tilia cordata</i>), рябина сибирская (<i>Sorbus sibirica</i>), черемуха обыкновенная (<i>Padus avium</i>), калина обыкновенная (<i>Viburnum opulus</i>), осина обыкновенная (<i>Populus tremula</i>) и спирея средняя (<i>Spiraea media</i>)
8		сосна сибирская (<i>Pinus sibirica</i>), рябина сибирская (<i>Sorbus sibirica</i>), ель обыкновенная (<i>Picea abies</i>), карагана древовидная (<i>Caragana arborescens</i>), черемуха обыкновенная (<i>Padus avium</i>), калина обыкновенная (<i>Viburnum opulus</i>), осина обыкновенная (<i>Populus tremula</i>) и спирея средняя (<i>Spiraea media</i>)
9	Технозем гумусогенный недифференцированный (смесь ПСП и четвертичных отложений I категории)	береза пушистая (<i>Betula pubescens</i>), сосна сибирская (<i>Pinus sibirica</i>), рябина сибирская (<i>Sorbus sibirica</i>) и карагана древовидная (<i>Caragana arborescens</i>)
10	Эмбриозем инициальный	сосна сибирская (<i>Pinus sibirica</i>), ель обыкновенная (<i>Picea abies</i>) и сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>).
11	Технозем модифицированный	Произведен посев семян люцерны (<i>Medicago</i>)

Выбор схем, прежде всего, обусловлен воссозданием таежной растительности и увеличением биоразнообразия на техногенных ландшафтах. Кроме того, для исследования процессов поглощения атмосферного углерода и определения перспективных видов для рекультивации нарушенных земель были выбраны 13 видов деревьев (первой, второй и третьей величины) и кустарников. Выбранные деревья и кустарники на разных участках рекультивации хорошо себя зарекомендовали [69, 157].

Также для эксперимента была создана высокоуглеродная карбоновая ферма, где использована максимальная густота деревьев – 4000 штук на гектар.

Участки с насаждениями липы сердцелистной (липовые рощи «Хвойная» и «Лиственная») созданы для распространения расширения ареала уникального липового леса. Данная культура широко применяется в озеленении городских и промышленных объектов. Из древесных ярусообразователей (широколиственных) данный вид в условиях техногенных ландшафтов в посадках экспериментального направления продемонстрировал хорошие результаты (показатели роста и развития). Это лесная культура может быть перспективна для применения в биологической рекультивации на исследуемой территории, так как предполагает зоны с хорошим почвенным увлажнением. Данный вид лесных культур для рекультивации нарушенных земель используется впервые.

Для создания высокоуглеродной карбоновой фермы были выбраны хвойные породы (деревья первой величины):

- сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) является основной древесной породой, используемой для рекультивации техногенно нарушенных территорий Кузбасса. Хорошо себя зарекомендовала в сложных гидротермических условиях, особенно в первые годы посттехногенного развития (высокие температуры почв в летний период и недостаток влаги) и с дефицитом элементов органоминерального питания [69];

- ель обыкновенная (*Picea abies*) является аборигенным представителем черневой тайги, также предпочитает природные районы с хорошим увлажнением;

- пихта сибирская (*Abies sibirica*) также является основным аборигенным представителем черневой тайги, эдификатором и ярусообразователем, предпочитает расти в районах с достаточным увлажнением и мощным снежным покровом, так как восприимчива к отрицательным температурам почвенного покрова.

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), ель обыкновенная (*Picea abies*) и пихта сибирская (*Abies sibirica*) использовались не только для исследований количественного поглощения углерода из атмосферы, но и для воссоздания уникального облика черневой тайги, увеличения видового состава растений при рекультивации нарушенных земель, в том числе были использованы аборигенные представители таежной экосистемы – сосна сибирская (*Pinus sibirica*) и осина (*Populus tremula*). Сосна сибирская (*Pinus sibirica*) является ярким представителем таежной флоры Западной Сибири, предпочитает увлажненные районы, кроме того, сосна является ценной древесной породой и перспективным видом для рекультивации земель в горно-таежной подзоне Кузбасса. Осина (*Populus tremula*) включена в посадочные схемы как ярусообразователь флоры черневой тайги, предпочитает территории с достаточным увлажнением.

Для хорошей приживаемости сосны сибирской (*Pinus sibirica*), как и других хвойных тенелюбивых видов, использовать эти породы лучше в схемах с быстрорастущими, лиственными породами.

Быстрорастущая и продуктивная береза является пионерной растительностью на техногенно нарушенных территориях, и под её пологом создается тень, что благоприятно влияет на развитие темнохвойных представителей черневой тайги. Кроме перечисленных растений, в посадочные схемы была включена лиственница сибирская (*Larix sibirica*) как хвойная и быстрорастущая порода.

Кроме того, для воссоздания природных особенностей черневой тайги были использованы деревья второй и третьей величины – рябина сибирская (*Sorbus sibirica*), карагана древовидная (*Caragana arborescens*) и черемуха обыкновенная (*Padus avium*). Эти представители аборигенной таёжной флоры формируют подлесочные виды. Данные культуры являются кормовой базой для животных, что важно для увеличения биоразнообразия и создания благоприятных экологических ниш в условиях техногенно нарушенных территорий.

Кроме деревьев, в схемах были использованы кустарники – калина обыкновенная (*Viburnum opulus*) и спирея средняя (*Spiraea media*). Эти представители широко встречаются в лесах смешанного типа и таежных, малотребовательны к элементам питания в почвах, морозоустойчивы, засухоустойчивы, также являются кормовой базой для многих животных.

Для эксперимента на всех участках полигона был произведен посев клевера и мятлика в соответствии с методическими рекомендациями (мятлик луговой – 30 кг/га, клевер белый – 20 кг/га) [156]. Травосмесь высеяна с целью оценки влияния почвопокровных растений на изменения физических и агрохимических свойств техноземов с использованием разных литогенных ресурсов (50 % на 25 м участка или 0,125 га).

В качестве контрольного варианта был выбран участок с естественными почвами – горно-лесными бурыми.

Участки рекультивации угольного разреза (филиал АО «УК» «Кузбассразрезуголь» «Калтанский угольный разрез»)

Ключевые экспериментальные участки располагаются на внешних отвалах на относительно ровной поверхности и имеют следующие характеристики.

Внешний автотранспортный отвал «Центральный» представляет собой платообразную поверхность и имеет высоту 50 – 60 м, состоит из двух ярусов по 20 – 30 м каждый. Корнеобитаемый слой сформирован из покровных суглинков мощностью более 3 м, площадь всего отвала 3,9 га, возраст отвала 48 лет. Биологический этап с посадкой растений не проводился. В соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов почвенный покров исследуемого участка представлен эмбриоземом гумусово-аккумулятивным (ЭГА) (участок 1 К).

Внешний автотранспортный отвал «Приконтурный» имеет платообразную поверхность. Высота отвала составляет 30 м, который представлен одним ярусом. Основание и тело отвала сложено прочной полускальной и скальной породами. Корнеобитаемый слой сформирован из

покровных суглинков мощностью чуть более 1 м, площадь всего отвала 70 га. Формирование корнеобитаемого слоя было выполнено в рамках технического этапа рекультивации в 2011 г.

В процессе биологического этапа рекультивации была осуществлена посадка сосны обыкновенной, возраст исследуемого отвала – 13 лет. В соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов почвенный покров исследуемого участка представлен эмбриоземом дерновым (ЭД) (участок 2 К). В качестве контрольного варианта был выбран участок с естественными почвами. Основание и тело отвалов сложено из основной вскрышной породы. Рельеф поверхности участков относительно ровный, с мелкобугристым слабонаклонным рельефом (не более 5 градусов).

Участки рекультивации в лесостепной подзоне Кузбасса, сформированные на отходах углеобогащения

Для оценки влияния отходов углеобогащения на развитие растительного и почвенного покрова на участках рекультивации, сформированных на отходах углеобогащения, а также для возможности использовать отходы углеобогащения как техногенный ресурс для экологически безопасного размещения в выработанных пространствах карьеров, созданы экспериментальные участки по разным технологиям рекультивации земель. На поверхности участков рекультивации сформированы искусственные почвы (техноземы) на отходах углеобогащения (отходы флотационного обогащения «кек» и породы после обогащения). В соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов земли под рекультивацию представлены следующими участками: № 1/Т 1 (верхний корнеобитаемый слой представлен отходами углеобогащения) – эмбриозем инициальный (ЭИ), возраст участка более 10 лет; № 2/Т 2 (верхний, корнеобитаемый слой участка сформирован путем нанесения на поверхность ППП (покровные суглинки) – технозем литогенный (ТЛ), возраст участка 4 года); № 3/Т 3 (верхний, корнеобитаемый слой участка сформирован путем нанесения на поверхность смеси ППП (покровных суглинков) и ПСП) – технозем гумусогенный

недифференцированный (ТГН), возраст участка 9 лет; № 4/Т 4 (верхний, корнеобитаемый слой участка сформирован путем нанесения на поверхность ПСП с примесью ППП (покровных суглинков) – технозем гумусогенный недифференцированный (ТГН), возраст участка 9 лет; участок № 5/Т 5 (верхний, корнеобитаемый слой участка сформирован путем нанесения на поверхность ППП (покровные суглинки) и последующим послойным перекрытием их ПСП – технозем) гумусогенный дифференцированный (ТГД), возраст участка 10 лет.

В качестве контрольного варианта был выбран участок с естественными почвами.

Глава 3 Исследования природных (климатических и биологических (растительность)) ресурсов и оценка их значимости в восстановлении растительного и почвенного покрова на техногенно нарушенных территориях в разных природно-климатических подзонах Кузбасса

3.1 Оценка климатических и биологических (растительность) ресурсов в горно-таежной подзоне Кузбасса

Кемеровская область – Кузбасс по своим климатическим условиям относится к резко континентальному климату с продолжительным, холодным зимним периодом и коротким, теплым периодом в летнее время. Однако мезоклиматические условия в геоморфологических и ботанико-географических районах отличаются [159], и в последнее время в Кузбассе наблюдаются изменения региональных климатических условий (увеличение суммы биологически активных температур и количества атмосферных осадков).

Характеристика климатических ресурсов в горно-таежной подзоне Кузбасса

Характеризуя мезоклиматические особенности изучаемой горно-таежной подзоны по репрезентативным данным метеорологической станции М-II Междуреченск (Чульжан), следует отметить, что средняя месячная температура атмосферного воздуха по многолетним данным самого теплого месяца (июль) составляет $+18,7^{\circ}\text{C}$, а самого холодного месяца (январь) $-17,5^{\circ}\text{C}$. В районе исследования средняя годовая температура воздуха составляет $+1,1^{\circ}\text{C}$. В июле 1991 г. был зафиксирован максимум температуры $+38,5^{\circ}\text{C}$, а минимум установлен в январе 2001 года $-49,3^{\circ}\text{C}$ (таблица 3.1). Продолжительность сезона со среднесуточной температурой выше 0°C (теплого сезона) составляет 198 дней, а холодного сезона – 167 дней, а безморозного периода в воздухе и на почве в среднем – 113 дней. Среднемноголетняя сумма температур выше $+10^{\circ}\text{C}$ (активные температуры) составляет $1631,1^{\circ}\text{C}$ и средние за последние 10 лет – 2121°C . Количество

среднемесячных температур и осадков представлены в таблице 3.1. Особенно следует отметить продолжительность названного периода, влияющего на интенсивность почвообразования, так как активнее протекает биологическая продуктивность биогеоценозов, что оказывает влияние на процессы гумусонакопления, в том числе и в молодых почвах техногенных ландшафтов.

Таблица 3.1 – Среднемесячная температура и осадки (многолетние данные) по репрезентативным данным метеорологической станции М-II Междуреченск (Чульжан)

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя температура, °C	-17,5	-14,6	-6,5	2,4	10,0	16,2	18,7	15,9	9,5	2,0	-7,5	-14,9	1,1
Норма осадков, мм	52	39	40	62	84	87	95	94	73	85	83	67	861

Характеризуя мезоклиматические особенности изучаемой горно-таежной подзоны в районе филиала АО «УК» «Кузбассразрезуголь» «Калтанский угольный разрез» по репрезентативным данным метеорологической станции М-II Кузедеево, следует обратить внимание, что по основным климатическим параметрам показатели близки (таблицы 3.3 и 3.4) к территории АО «Разреза Распадский», однако в данном районе наблюдается увеличение среднегодового количества атмосферных осадков за последние 10 лет на 16 % (таблицы 3.3 и 3.4).

Таблица 3.3 – Климатические показатели по репрезентативным данным метеорологической станции для г. Осинники – метеорологическая станция М-II Кузедеево

Средняя месячная температура воздуха (°C) (многолетние данные)	
Самого теплого (июля)	+18,6
Самого холодного (января)	-16,7
Средняя годовая температура воздуха	+1,5
Абсолютный максимум температуры воздуха	+37,4
Абсолютный минимум температуры воздуха	-48,8
Сумма осадков (мм)	
Теплый период года (апрель – октябрь)	488
Холодный период года (ноябрь – март)	204
Вегетационный период	411
Год	692

Продолжение таблицы 3.3

Продолжительность сезона со среднесуточной температурой 0 °С (средняя/минимальная/максимальная)	
Теплого (выше 0 °С)	203/175/242
Холодного (ниже 0 °С)	162/123/241
Продолжительность безморозного периода в воздухе	113/84/146
Продолжительность безморозного периода на почве	109/65/145
Продолжительность сезона со среднесуточной температурой	
Выше + 5 °С	167/126/196
Выше +10 °С	126/92/157
Выше +15 °С	76/42/106
Среднемноголетняя сумма температур выше +10 °С (активные тем-ры)	(Средние многолетние/средние за последние 10 лет в °С) 1663,3/2144

Таблица 3.4 – Среднемесечная температура и осадки (многолетние данные) по репрезентативным данным метеорологической станции М-П Кузедеево (многолетние данные, за последние 10 лет)

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя температура, °С	-14,9	-12,4	-3,3	5,1	11,5	17,3	18,9	16,7	10,2	3,1	-6,9	-13,1	2,7
Норма осадков, мм	43	35	40	46	63	72	89	67	67	76	70	53	720

Особенно следует отметить экологические условия, обусловленные мощным снежным покровом под черневой тайгой (более 2 м), определяющие температурный режим почвенного покрова и приземного слоя воздуха.

Мощный снежный покров (более 2 м), особенно в пониженных элементах рельефа естественных территорий, и мощная преграда в виде черневой тайги против ветровых потоков препятствуют выхолаживанию почвенного покрова, поэтому в районе исследования почвы не промерзают. Мощный снежный покров выполняет роль изолирующего экрана, тем самым защищает от потери тепла и влаги в почве [35].

Среднемноголетняя сумма биологически активных температур выше 10 °С в районе исследования на естественных территориях составляет 1631 °С, за последние 10 лет среднегодовые температуры увеличились. Такое

поступление тепла на поверхность является достаточной для благоприятного развития почвенного и растительного покрова. Так, в районе АО «Распадский угольный разрез» в естественных почвах за период с 04.06.2024 г. по 22.09.2024 г. сумма биологически активных температур на глубине 0 – 10 см в среднем составляла 1655,25 °С.

В связи с тем, что почвы исследуемого района всегда находятся в диапазоне положительных температур, что является достаточно специфическими для территории Западной Сибири, создаются благоприятные условия для функционирования почвенного биогеоценоза, при которых активно происходит биологическая деструкция и минерализация органических материалов в почве [158].

Для характеристики особенностей распределения тепла и влаги на поверхности исследуемой территории использовалось районирование С.С. Трофимова. Согласно этой схеме, исследуемый участок находится в пределах V гидротермической зоны и по характеру атмосферного увлажнения относится к очень влажному гидроряду [160]. Равномерное выпадение атмосферных осадков обеспечивает постоянно высокое увлажнение почвенного покрова. Значение гидротермического коэффициента, по Г.П. Селянинову, приближается к 2. Годовая сумма осадков в районе АО «Разрез Распадский» увеличивается и составляет 861 мм. Для характеристики особенностей распределения на поверхности территории АО «Разрез Распадский» тепла, влаги использовалось районирование С.С. Трофимова. Согласно полученным данным, сделан вывод: исследуемая территория находится в пределах VI гидротермической зоны, по характеру увлажнения атмосферными осадками относится к избыточному увлажнению.

Характеристика растительного покрова на естественных, ненарушенных территориях в горно-таежной подзоне Кемеровской области – Кузбасса

Объекты исследования по признаку растительного покрова приурочены к Кондомо-Мрасскому таежному ботанико-географическому району.

Орографически район приближен к северной части Горной Шории. Это возвышенная равнина с отметками высоты в 300 – 620 м, расчлененная долинами реки Кондомы и ее притоков.

Растительный покров данного района очень хорошо изучен и имеет характерные признаки:

- преобладание пихтово-осиновых лесов (черневая тайга) с высокотравием;
- присутствие уникального ареала липового леса и травостоя из растений «третичных реликтов»;
- развитие по гарям березово-осиновых и чистых осиновых насаждений с высокотравными зарослями.

Доминирующей древесной породой в районе исследования является пихта. Она произрастает по склонам рек до верхнего предела леса, покрывает склоны гор с разной крутизной и смещается книзу, на аллювиальные поймы рек.

Черневая тайга, распространяющаяся на большие площади склонов и водоразделов в виде смешанного леса, и, несмотря на то, что пихты являются доминирующим видом, встречается и незначительное количество кедра, и большое присутствие осины. Развиваются молодые пихты.

Второй ярус представлен жимолостью, желтой акацией, рябиной, черемухой и разными кустарниками. Травянистый ярус представлен широколиственным крупнотравием – борец высокий (*Aconitum excelsum*), дудник лесной (*Angelica silvestis*), володушка золотистая (*Bupleurum aureum*), скерда сибирская (*Crepis sibirica*). Злаковые растения представлены овсяницей (*Festuca gigantean* и *F. silvatica*) и вейником (*Calamagrostis Langsdorfit*). Отсутствует ярус кустарников и мохового покрова. Кроме того, для исследований данного района характерен травянистый ярус из мелких, тенелюбивых растений – ясменник пахучий (*Asperula odorata*), кисличка (*Oxalis acetosella* L.), копытен (*Asarum europaeum*), подмаренник (*Galium Krylovii*).

В условиях черневой тайги нередко встречаются в травянистом ярусе крупные папоротники разных видов: *Stuthiopteris*, *Filicastrum*, *Athyrium filix femina*, *A. Crenatum*, *Dryopteris spinulosa*.

В верхних горизонтах гор с небольшим распространением – пихтовые леса с черничником, пихтово-кедровые и кедровые леса.

В долинах рек встречаются смешанные леса из пихты, березы и ели.

На территории исследования старовозрастные гари имеют большое распространение и представлены осиново-березовым и чисто осиновым лесом.

Особо следует отметить уникальную территорию распространения реликтового липового леса. В основном на территории леса доминируют виды черневой тайги с примесью липы. Чистые липняки встречаются на незначительных площадях.

В лесу, за исключением лип, преобладают пихта, древовидная черемуха, береза и таежное высокотравье.

Подлесок состоит из рябины, черемухи и калины. Нижний ярус – малиной, нередко встречается смородина и другие виды.

Виды травянистого покрова: копытень (*Asarum europaeum*), ясменник пахучий (*Asperula odorata*), кисличка (*Oxalis acetosella* L.), цирцея (*Circea alpine*). Из злаков присутствуют овсяницы (*Festica gigantea*, *F. silvatica*). Также присутствуют крупные папоротники (*Dryopteris filix mas*, *Polystichum Braunii*, *Stuthiopteris filicastrum*) [161 – 163]

Характеристика растительного покрова на естественных, ненарушенных территориях вблизи АО «Распадский разрез»

Естественный участок № 1ЕР (координаты: N 53°81'91,6" E 88°173'39")

Результаты геоботанических исследований показали, что ненарушенные естественные участки представлены березово-пихтово-осиновым и березово-осиновым-пихтовым лесом (рисунок 3.1).

Видовой состав березово-пихтово-осиновый лес представлен:

– древесный ярус: пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb) – проективное покрытие 15 %, осина обыкновенная (*Populus tremula* L) – проективное покрытие 50 %; берёза повислая (*Betula pendula* Roth) – проективное покрытие 5 %;

– кустарниковый ярус: малина обыкновенная (*Rubus idaeus* L.) – проективное покрытие 10 %; также присутствуют такие виды, как черёмуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Hedl.), спирея средняя (*Spiraea media* Schmidt), карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), смородина колосистая (*Ribes spicatum* E. Robson) – с проективным покрытием <10 %; в единичном экземпляре присутствует бузина сибирская (*Sambucus sibirica* Nakai);

– травянистый ярус: подмаренник душистый (*Galium odoratum* (L.) Scop.) – проективное покрытие 20 %; страусник обыкновенный (*Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod.) – проективное покрытие 15 %; кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), недоселка копьевидная (*Parasenecio hastatus* (L.) H. Koyama) – проективное покрытие 10 %; бор развесистый (*Milium effusum* L.), подмаренник вздутоплодный (*Galium physocarpum* Ledeb.) с проективным покрытием 10 %; яснотка белая (*Lamium album* L.), пион уклоняющийся (*Paeonia anomala* L.), чина гмелина (*Lathyrus gmelinii* Fritsch), молочай волосистый (*Euphorbia pilosa* L.), василисник малый (*Thalictrum minus* L.), медуница мягчайшая (*Pulmonaria mollis* Wulfen ex Hornem.), володушка золотистая (*Bupleurum longifolium* ssp. *aureum* (Fisch. ex Hoffm.) Soó), соссюрея широколистная (*Saussurea latifolia* Ledeb.), овсяница гигантская (*Festuca gigantea* (L.) Vill.), крестовник дубравный (*Senecio nemorensis* L.), борец северный (*Aconitum septentrionale* Koelle), скерда сибирская (*Crepis sibirica* L.), звездчатка бунге (*Stellaria bungeana* Fenzl) с проективным покрытием <10 % и в единичных экземплярах представлены лилия саранка (*Lilium pilosiusculum* (Freyn) Misch.), чистец лесной (*Stachys sylvatica* L.), бодяк разнолистный (*Cirsium heterophyllum* (L.) Hill), синюха голубая (*Polemonium caeruleum* L.), борщевик рассечённый (*Heracleum dissectum* Ledeb.).



Рисунок 3.1 – Фото растительного покрова на участке № 1ЕР

Естественный участок № 2ЕР (координаты: N 53°78'603" E 88°166'29")

Видовой состав березово-осиново-пихтового леса представлен (рисунок 3.2):

– *древесный ярус*: пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.) – проективное покрытие 30 %, осина обыкновенная (*Populus tremula* L.) – проективное покрытие 35 %, берёза повислая (*Betula pendula* Roth) – проективное покрытие 10 %;

– *кустарниковый ярус*: черёмуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Hedl), спирея средняя (*Spiraea media* Schmidt), калина обыкновенная (*Viburnum opulus* L.) с проективным покрытием <10 %, в единичных экземплярах представлена смородина колосистая (*Ribes spicatum* E. Robson);

– *травянистый ярус*: страусник обыкновенный (*Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod.) – проективное покрытие 30 %; борец северный (*Aconitum septentrionale* Koelle), подмаренник душистый (*Galium odoratum* (L.) Scop.), скерда сибирская (*Crepis sibirica* L.) с проективным покрытием 15 %; бор развесистый (*Milium effusum* L.), вороний глаз четырёхлистный (*Paris quadrifolia* L.), кислица обыкновенная (*Oxalis acetosella* L.), буковник

обыкновенный (*Phegopteris connectilis* (Michx.) Watt), живокость высокая (*Delphinium elatum* L.) с проективным покрытием 10 %; молочай волосистый (*Euphorbia pilosa* L.), пион уклоняющийся (*Paeonia anomala* L.), недоспелка копьевидная (*Parasenecio hastatus* (L.) H. Koyama), чина Гмелина (*Lathyrus gmelinii* Fritsch), медуница мягчайшая (*Pulmonaria mollis* Wulfen ex Hornem.), майник двулистный (*Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt), синюха голубая (*Polemonium caeruleum* L.), володушка золотистая (*Bupleurum longifolium* ssp. *aureum* (Fisch. ex Hoffm.) Soó), герань Крылова (*Geranium krylovii* Tzvelev), василисник малый (*Thalictrum minus* L.), соссурея широколистная (*Saussurea latifolia* Ledeb.), бодяк разнолистный (*Cirsium heterophyllum* (L. Hill), щитовник мужской (*Dryopteris filix-mas* L.) Schott) с проективным покрытием <10 %, в единичных экземплярах представлены лилия саранка (*Lilium pilosiusculum* (Freyn) Misch.), чемерица Лобеля (*Veratrum lobelianum* Bernh.), яснотка белая (*Lamium album* L.).



Рисунок 3.2 – Фото растительного покрова на участке № 2 ЕР

3.2 Оценка климатических и биологических (растительность) ресурсов в лесостепной подзоне Кузбасса

Характеризуя мезоклиматические особенности изучаемой лесостепной подзоны Кузбасса по репрезентативным данным метеорологической станции для г. Ленинск-Кузнецкий (метеорологическая станция М-II Красное) средняя

месячная температура атмосферного воздуха по многолетним данным самого теплого месяца (июль) составляет +18,8 °С, самого холодного месяца (январь) –17,3 °С. В районе исследования средняя годовая температура воздуха составляет +0,6 °С.

Продолжительность сезона со среднесуточной температурой выше 0 °С (теплого сезона) в среднем составляет 198 дней, а холодного сезона – 167 дней. Среднегодовое количество атмосферных осадков в районе исследования составляет всего 365 мм, среднемесячная температура и осадки представлены.

Таблица 3.5 – Среднемесячная температура и осадки (по многолетним данным за период 2015 – 2025 гг.) г. Ленинск-Кузнецкий (по М-II Красное)

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя температура, °С	-17,3	-14,5	-6,5	+3,7	+11,0	+16,7	+18,8	+16,1	+9,3	+2,6	-7,3	-14,4	+1,5
Норма осадков, мм	13	9	12	21	37	54	57	51	38	28	26	19	365

Сумма биологически активных температур выше 10 °С (среднемноголетняя) составляет 1643 °С, а за последние 10 лет наблюдается увеличение – 2063 °С, что и является достаточной для благоприятного развития почвенного и растительного покрова (таблица 3.5).

Для характеристики особенности распределения на поверхности исследуемой территории тепла, влаги использовалось районирование С.С. Трофимова. В результате был сделан вывод: исследуемая территория находится в пределах I гидротермической зоны, по характеру увлажнения атмосферными осадками относится к засушливым условиям с формированием автоморфных почв [160]. В районе исследования нередко наблюдается недостаточность почвенной влаги.

Характеристика растительного покрова на естественных, ненарушенных территориях в лесостепной подзоне Кемеровской области – Кузбасса

Исследуемые объекты находятся в лесостепной подзоне Кемеровской области, по признаку растительного покрова приурочены к Центральному лесостепному ботанико-географическому району, который является наиболее остепненной территорией. В орографическом плане район представляет собой равнину (абсолютные высоты не более 300 м).

В условиях района растительность представлена разнотравно-злаковыми и редко кустарниковыми степями, обладает значительным разнообразием степных видов и является наиболее нарушенным антропогенной деятельностью [163].

Растительный покров района очень хорошо изучен и имеет характерные признаки [162, 163]: преобладание на равнинных участках ковыльно-разнотравных степей: ковыль перистый (*Stipa Joannis*), тонконог (*Koeleria gracilis*), в значительном количестве встречаются растения, такие как люцерна (*Medicago falcata*), полынь (*Artemisia glauca* и *A.campestris*), эспарцет (*Onobrychis arenaria*), зопник (*Phlomis tuberosa*) и другие растения [162, 163]

– разнотравные степи – прострел (*Pulsatilla patens*), лабазник (*Filipendula hexapetala*), горицвет (*Adonis sibirica*), из злаковой растительности наиболее часто встречаются виды, такие как тимофеевка (*Phleum phleoides*), овес пушистый (*Avenastrum pubescens*), мятлик узколистный (*Poa angustifolia*) и другие растения [162, 163]

– каменистые степи, сформированные на южных склонах холмов и увалов, – лапчатка (*Potentilla acaulis*), копеечник (*Hedysarum Gmelini*), колокольчик (*Campanula sibirica*), житняк (*Agropyrum cristatum*) и степные злаки, такие как ковыль, тонконог и другие растения [162, 163].

– в долинах рек преобладают злаково-разнотравные заливные луга – тимофеевка (*Phleum pratense*), клевер (*Trifolium pratense*), полевица белая (*Agrostis alba*) и другие виды.

Растительность лесных формаций для исследуемого района не характерна [162].

Характеристика растительного покрова на естественных, ненарушенных территориях вблизи участков рекультивации, сформированных на отходах углеобогащения

Естественный участок № 6 (координаты: N 54°6'53" E 86°06'29")

Результаты геоботанических исследований показали, что ненарушенные естественные участки представлены остепненным лугом (рисунок 3.3).

Видовой состав растительности:

– древесный ярус: не выявлен.

– кустарниковый ярус: не выявлен.

– травянисто-кустарничковый ярус: полынь сизая (*Artemisia glauca* Pall. ex Willd.) – проективное покрытие 25 %, зопник клубненосный (*Phlomis tuberosa* (L.) Moench), лабазник обыкновенный (*Filipendula vulgaris* Moench), земляника зелёная (*Fragaria viridis* (Duchesne) Weston) – проективное покрытие 20 %, ковыль перистый. (*Stipa pennata* L), мятлик степной (*Poa stepposa* (Krylov) Roshev.) – проективное покрытие 15 %, адонис весенний (*Adonis vernalis* L.), лапчатка распростёртая (*Potentilla humifusa* Willd. ex Schltld.) – проективное покрытие 10 %, ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), качим высокий (*Gypsophila altissima* L.), вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), кострец безостый (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub), пустырник уменьшенный (*Leonurus deminutus* V. Krecz.), тимopheевка луговая (*Phleum pratense* L.), полынь чернобыльник (*Artemisia vulgaris* L.), молочай прутьевидный) (*Euphorbia virgata* Waldst. & Kit.), подмаренник настоящий (*Galium verum* L.), горичник Морисона (*Peucedanum morisonii* Besser ex Spreng.), льнянка обыкновенная (*Linaria vulgaris* Mill.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), вероника колосиста (*Veronica spicata* L.), нонья русская (*Nonea rossica* Steven) с проективным покрытием <10 % и в единичных экземплярах представлены василисник малый (*Thalictrum minus* L.), кровохлёбка лекарственная (*Sanguisorba officinalis* L.), василёк шероховатый (*Centaurea scabiosa* L.), полынь эстрагон (*Artemisia dracunculoides* L.), синеголовник плоский (*Eryngium planum* L.), чертополох поникающий

(*Carduus nutans* L.), зверобой продырявленный (*Hypericum perforatum* L.), жабрица порезниковая (*Seseli libanotis* (L.) W.D.J. Koch), гвоздика разноцветная (*Dianthus versicolor* Fisch. ex Link).

Проективное покрытие растительностью составляет 95 %.



Рисунок 3.3 – Фото растительного покрова на естественном участке № 6

Вывод по главе 3

Климатических ресурсов в районе горно-таежной подзоны Кузбасса достаточно для создания устойчивых растительных сообществ на нарушенных территориях. Благодаря достаточному и избыточному увлажнению (по среднемноголетним данным за последние 10 лет годовая сумма осадков в районе исследований варьирует в диапазоне от 720 до 883 мм) происходит равномерное выпадение атмосферных осадков. Это обеспечивает постоянно высокое увлажнение почв техногенных ландшафтов и способствует развитию растительного покрова, особенно в первые годы функционирования техногенных ландшафтов. Среднемноголетняя сумма биологически активных температур выше 10 °С на естественных территориях изменяется в диапазоне от 1663 до 1655°С, за последние 10 лет активные температуры заметно увеличились и варьируют от 2121 до 2144 °С, что также является достаточной для благоприятного развития почвенного и растительного покрова.

Геоботанические описания растительного покрова исследованных участков, расположенных в непосредственной близости к породным отвалам, свидетельствуют о том, что данные территории соответствуют естественному, относительно не нарушенному типу растительности, и видовое разнообразие на двух исследуемых участках составляет от 27 до 33 видов растительности. Богатый видовой состав фитоценозов и близость ненарушенных естественных территорий к отвалам (от 500 м до 1 км) способствуют активному развитию фитоценозов на участках после рекультивации.

В лесостепной подзоне Кузбасса наблюдаются другие климатические условия. Можно отметить, что на данной территории наблюдается дефицит атмосферных осадков (среднегодовое количество атмосферных осадков в районе исследований составляет всего 362 мм, за последние 10 лет – 365 мм). В июле выпадает максимум осадков – 65 мм. Среднегодовое количество биологически активных температур выше 10 °С на естественных территориях составляет 1643 °С, за последние 10 лет – 2063 °С, что является также достаточной для благоприятного развития почвенного и растительного покрова.

Геоботанические описания растительного покрова исследованных участков, расположенных в непосредственной близости к породным отвалам, свидетельствуют о том, что данные территории соответствуют естественному, относительно не нарушенному типу растительности, и видовое разнообразие на двух исследуемых участках составляет 31 вид. Однако удалённость естественных территорий от участков рекультивации затрудняет распространение семян растений за счет ветра, воды, животных, что не способствует развитию фитоценозов на участках после рекультивации.

Таким образом, в горно-таежной подзоне Кузбасса наблюдаются благоприятные условия по поступлению тепла и влаги для развития растительного покрова на техногенных ландшафтах. Следует отметить, что за последние 10 лет увеличивается количество атмосферных осадков, так в 2010 г. среднегодовое в горно-таежной подзоне Кузбасса, в районе филиала АО

«УК» «Кузбассразрезуголь» «Калтанский угольный разрез» составляло 665 мм, в 2025 г. – 720 мм. В районе расположения АО «Разрез Распадский» в 2010 г. среднегодовое количество осадков составляло 775 мм, в 2025 г. – 883 мм.

Лесостепной район Кузбасса характеризуется наиболее теплообеспеченной территорией, однако по характеру увлажнения наиболее засушливой. За последние 10 лет увеличение количества атмосферных осадков не наблюдается: в 2010 г. среднегодовое количество осадков в лесостепной подзоне Кузбасса составляло 364 мм, в 2025 г. – 365 мм.

Кроме того, по репрезентативным данным метеорологической станции в исследуемых районах за последние 10 лет фиксируется увеличение активных температур, оказывающее также положительное влияние на развитие растительного и почвенного покрова на техногенных ландшафтах.

Глава 4 Комплексная почвенно-экологическая оценка литогенных, техногенных ресурсов (минералогические, физико-химические, агрохимические, биологические исследования) и установление критериев пригодности основных вскрышных и вмещающих пород горно-таежной подзоны Кузбасса для рекультивации земель и благоприятного функционирования фитоценозов и искусственных почв (техноземов)

4.1 Характеристика почвенного покрова в горно-таежной и лесостепной подзонах Кузбасса

Почвенный покров на ненарушенных территориях вблизи филиала АО «УК» «Кузбассразрезуголь» «Калтанский угольный разрез»

Почвенный покров на ненарушенных территориях представлен дерново-глубокоподзолистыми почвами на некарбонатных бурых покровных глинах под пологом черневых осиново-пихтовых высокотравных лесов и находится на территории Унзас-Тельбесского почвенного района подзоны вторичных лесов и высокотравных черневых лугов (рисунок 4.1) [160]. Почвы южной тайги Западной Сибири, в том числе и дерново-глубокоподзолистые почвы, изучены хорошо [164]. Характерной особенностью генезиса дерново-глубокоподзолистых почв является их формирование под пологом широколиственной черневой тайги при постоянном переувлажнении и отсутствии зимнего промерзания. С.С. Трофимовым и С.А. Тарановым эти почвы очень хорошо описаны [165]. В почвах хорошо прослеживается элювиально-иллювиальная дифференциация илистых частиц – уменьшение илистой фракцией и обогащение им элювиальной части (рисунок 4.1) [159].

Морфологическое описание почв



Рисунок 4.1 – Профиль дерново-глубокоподзолистых почв и зональная растительность [158]

Содержание гумуса в дерново-подзолистых почвах незначительное. В верхнем горизонте A_d общее содержание достигает до 4,8 %. Это вызвано влиянием травяной растительности и развитием дернины. На глубине 47 – 59 см в горизонте A_2B содержание гумуса изменяется с глубиной и составляет 0,8 % (таблица 4.1). В нижней части горизонта A_2 присутствуют мелкие орштейны. Горизонт B очень плотный, с комковато-глыбистой структурой. По граням структурных отдельностей проявляются кутаны, что свидетельствует о переувлажнении профиля данных почв.

Таблица 4.1 – Агрохимические и физические свойства дерново-глубокоподзолистых почв в мелкозем

Горизонт	Глубина отбора образца, см	pH	C _{орг} , %	Гумус, %	Азот, %	P ₂ O ₅ , %	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, %	K ₂ O, мг/кг
Ад	0 – 3	4,19	2,79	4,8	0,35	0,19	20,4	1,75	26
A ₁ A ₂	3 – 16	5,38	2,24	3,9	0,29	0,16	12,7	1,72	18
A ₂	16 – 47	5,39	0,61	1,0	0,11	0,14	19,8	1,68	13
A ₂ B	47 – 59	5,40	0,48	0,8	0,09	0,14	22,3	1,71	19

Переход в почвообразующую породу отмечается на глубине 1,5 м и более. Благодаря мощному снежному покрову, предохраняющему почву тайги от потерь тепла, создаются благоприятные условия для активного протекания микробиологических процессов [165]. По механическому составу их можно отнести к тяжелым суглинкам.

Почвенный покров на ненарушенных территориях вблизи АО «Разрез Распадский»

Почвенный покров на ненарушенных территориях представлен горно-лесными бурыми почвами (бурозёмами) (рисунок 4.2). Данные почвы формируются под таежным лесом на суглинках с включением слабоокатанной гальки и щебня коренных пород (элювии и элюво-делювии плотных осадочных, метаморфических и магматических пород). Они обладают определенными признаками и особенностями: в почвенном профиле наблюдается слабая дифференциация на генетические горизонты; равномерный бурый или коричнево-бурый цвет по всему почвенному профилю; по всему профилю реакция среды слабокислая; отмечается незначительная миграция по почвенному профилю с верхних горизонтов в нижние кремнезема и полуторных оксидов [159]. В связи с тем, что район исследования относится к очень влажным, в почвах формируется тип водного режима – промывной.

Морфологическое описание почв

Почвы горно-лесные бурые (разрез № 1)



Рисунок 4.2 – Почвы горно-лесные бурые (разрез № 1) и растительный покров

A_1 0 – 17 см. Серый, рыхлый, влажный, пылевато-комковатой структуры. Подстилка состоит из полуразложившихся остатков трав. Переход по цвету и плотности.

B 17 – 34 см. Светло-бурый, свежий, комковато-ореховатой структуры. Переход по цвету и плотности.

BC 34 – 55 см. Темно-бурый, свежий, комковатой структуры, уплотнен, средний суглинок. Включение хряща коренных пород (рисунок 4.4).

Почвы горно-лесные бурые (разрез № 2)

A_1 1 – 2 см. Серый, рыхлый, влажный. Подстилка состоит из полуразложившихся остатков трав и веточек деревьев.

A_1A_2 2 – 17 см. Серый, рыхлый, сухой, слабо оподзоленный, легкий суглинок, волнистый переход в горизонт B .

B 17 – 40 см. Светло-бурый, сухой, рыхлый, комковатой структуры, лёгкий суглинок, обилие корней.

ВС 40 – 50 см. Бурый, бесструктурный, плотный, средний суглинок, комковатой структуры, включение камней (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – Почвы горно-лесные бурые (разрез № 2)

Гранулометрический состав бурых лесных почв разнообразен и обусловлен, прежде всего, минералогическим составом почвообразующих пород, и, как следствие, дезинтеграция пород происходит неодинаково. По гранулометрическому составу, по классификации Качинского, материал мелкоземной части почв в основном относится к средним суглинкам и глинам с содержанием фракции физической глины от 36,66 % (горизонт А₁, глубина 0 – 17 см) и с глубиной по профилю увеличивается до 42,80 % (горизонт ВС, глубина 34 – 55 см). Содержание илистой фракции увеличивается с глубиной по профилю и варьирует от 11,59 (горизонт А₁, глубина 0 – 17 см) до 42,80 % (горизонт ВС, глубина 34 – 55 см).

Результаты исследований валового химического состава зональных почв свидетельствуют о том, что элювиально-иллювиального распределения по профилю основных окислов (SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3) существенно не проявляется, отмечается незначительное увеличение с глубиной (таблица 4.2). Поэтому признаки оподзоливания морфологически не выявляются, что характерно для бурозёмообразования. Также не обнаруживается существенного различия в молекулярном отношении $\text{SiO}_2:\text{R}_2\text{O}_3$ (таблица 4.2).

Содержание гумуса в органогенном горизонте, в верхней его части, изменяется в широком диапазоне и с глубиной по профилю содержание органического вещества существенно уменьшается (таблица 4.3).

Таблица 4.2 – Элементный состав почв

Горизонт	Глубина отбора образца, см	Массовая доля элементов, %							
		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO
Почвы горно-лесные бурые (разрез 1)									
A ₁	0 – 17	70,22	4,90	0,91	9,25	1,00	1,26	1,35	0,092
B	17 – 34	71,46	5,11	0,70	10,40	1,16	1,43	1,40	0,073
BC	34 – 55	74,09	5,06	0,69	10,97	1,17	1,46	1,42	0,078

Таблица 4.3 – Агрохимические и физические свойства горно-лесных бурых почв в мелкозем

Горизонт	Глубина отбора образца, см	pH	C _{орг.} , %	Гумус, %	Азот, %	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	Засоленность по сухому остатку, %
Почвы горно-лесные бурые (разрез 1)								
A ₁	0 – 17	5,2	2,6	4,5	0,41	105,9	210	0,06
B	17 – 34	4,73	1,9	3,3	0,18	49,6	182	0,09
BC	34 – 55	4,70	1,1	1,9	0,12	81,4	250	0,04
Почвы горно-лесные бурые (разрез 2)								
A ₁ A ₂	2 – 17	5,1	2,7	4,6	0,35	81,6	225	0,08
B	17 – 40	4,85	0,9	1,5	0,17	80,8	217	0,06
BC	40 – 50	4,61	1,1	1,9	0,18	47,4	210	0,06

Характеристика почвенного покрова на естественных, ненарушенных территориях в лесостепной подзоне Кемеровской области – Кузбасса

В соответствии с почвенно-географическим районированием территория исследования относится к почвенному району степного ядра, для которого характерны самые ценные почвы – черноземы [160]. Почвы характеризуются разными подтипами (выщелоченными, обыкновенными и оподзоленными). В районе расположения исследуемого объекта преобладают черноземы выщелоченные, сформированные на лессовидных суглинках (рисунки 4.4 – 4.5).



Рисунок 4.4 – Выровненная поверхность. Остепненный луг



Рисунок 4.5 – Профиль почв – чернозем выщелоченный

Морфологическое строение

A _d 0 – 6 см	Серый, сухой, зернисто-пылеватый, среднесуглинистый, уплотненный. Переход по количеству корней.
A ₁ 6 – 33 см	Серый, сухой, рыхлый, среднесуглинистый, комковатой структуры. Обильно пронизан корнями. Переход постепенный по цвету.
AB 33 – 44 см	Темно-бурый, сухой, среднесуглинистый, уплотненный, комковатой структуры. Встречаются единичные корни. Переход постепенный по цвету. Граница волнистая.
B 44 – 60 см	Бурый, сухой, среднесуглинистый, плотный, крупно-комковатой структуры. Встречаются единичные корни. Переход по вскипанию HCl.

Данные почвы отличаются мощным гумусовым горизонтом (А + АВ) от 30 до 65 см. Характеризуются разнообразным составом твердой фазы почв, а именно гранулометрическим составом. В гранулометрическом составе преобладают крупнопылеватая и илистая фракции, а содержание песчаных фракций заметно снижено. Благоприятный микроагрегатный состав с преобладанием крупных фракций (<0,01 мм) оказывает положительное влияние на водный режим и воздушные условия почв, что приводит к хорошей миграции подвижных элементов питания и способствует развитию растений. Благодаря благоприятной структуре и пористости почвы обладают высокой водоудерживающей способностью и интенсивным капиллярным поднятием, что обеспечивает доступность влаги для растений [159] (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Агрофизические свойства почв

Тип почвы	Горизонт	Глубина, см	Плотность, г/см ³	Плотность сложения, г/см ³	Порозность, %	Содержание частиц <0,01 мм, %
Чернозем выщелоченный	A ₁	6 – 33	2,64	1,18	55,30	45,75
	AB	33 – 44	2,67	1,34	49,81	50,64
	B	44 – 60	2,71	1,42	47,60	47,20

В соответствии с классификацией температурного режима почв по В.Н. Димо, черноземы выщелоченные относятся к холодным, длительно и сезонно промерзающим [166].

Водный режим почв зависит, прежде всего, от годового количества атмосферных осадков, температурного режима и особенностей физических свойств почвенного покрова. Следует отметить, что к началу вегетационного периода нередко в почвах наблюдается дефицит влаги, в частности в засушливые годы. Это связано с особенностями теплового режима, поскольку нижние горизонты почв промерзают и плохо насыщаются водой. Данный тип почв имеет непромывной режим [159].

Характерной особенностью почв и главной ценностью является накопление гумуса высокого качества в верхнем, корнеобитаемом слое

(таблица 4.5). Что в свою очередь влияет на формирование теплового, водного режимов и на питание для растений. Особенность физико-химических свойств почв заключается в величине рН, если верхняя часть профиля почв обладает слабокислой или нейтральной средой, то нижняя за счет преобладания в минеральной части карбонатов – слабощелочной и щелочной (таблица 4.5). Почвы насыщены катионами оснований (преимущественно кальцием и магнием), причем с преобладанием кальция, и относятся к незасоленным [159].

В почвах наблюдается высокая численность микроорганизмов. За счет благоприятного органического и минерального состава (содержание гумуса, соединений азота и элементов питания – фосфора и калия) происходит активное развитие почвенной биоты (таблица 4.5) [159].

Таблица 4.5 – Основные агрохимические свойства почв

Тип почвы	Горизонт	Глубина, см	рН _{вод}	С _{орг.} , %	Гумус, %
Чернозем выщелоченный	A ₁	6 – 33	6,66	4,1	7,1
	AB	33 – 44	7,34	1,2	2,1
	B	44 – 60	7,03	0,6	1,0

4.2 Геологическое строение месторождения и комплексная оценка литогенных, техногенных ресурсов и установление критериев пригодности основных вскрышных и вмещающих пород горно-таежной подзоны Кузбасса для рекультивации земель и благоприятного функционирования фитоценозов и искусственных почв (техноземов)

Геологическое строение и стратиграфическое описание отложений Кузнецкого угольного бассейна хорошо изучено и в работе описание геолого-экономических районов дано по А.З. Юзвickкому [167].

Филиал АО «УК» «Кузбассразрезуголь» «Калтанский угольный разрез» находится в Кондомском геолого-экономическом районе на юге Кузнецкой котловины. Орографически район приближен к северной части Горной

Шории. Это возвышенная равнина с отметками высоты в 300 – 620 м, расчлененная долинами реки Кондомы и ее притоков.

АО «Разрез Распадский» относится к Томь-Усинскому геолого-экономическому району. Район в орографическом плане представляет собой изрезанную эрозионно-денудационную равнину, постепенно переходящую в южную и восточную части в предгорьях Кузнецкого Алатау и Горной Шории. Исследуемый объект тяготеет к предгорью Горной Шории, где распространены такие отложения, как каменноугольные, пермские, юрские, неоген-четвертичные [167]. Продуктивные угленосные отложения представлены балахонской и кольчугинской сериями. Основные вскрышные и вмещающие породы – песчаники, переслаивающиеся песчаники и алевролиты, аргиллиты и рыхлые четвертичные отложения.

В районах исследования преобладают отложения, такие как каменноугольные, пермские, юрские, неоген-четвертичные [167]. Продуктивные угленосные отложения представлены балахонской и кольчугинской сериями.

Острогская подсерия, мощность отложений которой около 300 м, состоит из серых, зеленовато-серых песчаников с прослоями гравелитов, алевролитов, аргиллитов и конгломератов [167].

Нижнебалахонская подсерия, мощность отложений которой составляет 580 – 640 м, представляет собой чередование слоев песчаника с алевролитами, углистыми аргиллитами и углями, а также с незначительным распространением гравелитов.

Верхнебалахонская подсерия, мощность отложений изменяется от 860 до 1250 м и состоит из переслаивающихся алевролитов и песчаников.

На верхнебалахонской подсерии залегает кузнецкая подсерия и представляет собой чередование слоев песчаника с алевролитами, мощность отложений которой составляет 700 – 750 м.

На поле АО «Разрез Распадский» хорошо развиты отложения кольчугинской серии. В соответствии со стратиграфическим описанием она состоит из кузнецкой, ильинской и ерунаковской подсериями.

Кузнецкая подсерия представлена в основном серыми песчаниками с прослоями алевролитов, а мощность толщи изменяется от 150 до 250 м.

Ильинская подсерия, мощность отложений которой 600 – 700 м, представляет собой чередование алевролитов, песчаников и углей.

В Ерунаковской подсерии доминируют песчаники, присутствуют конгломераты. Мощность подсерии – 850 м.

Рыхлые четвертичные отложения в районе АО «Разрез Распадский» (далее – Распадское месторождение) повсеместно покрывают коренные породы и в основном представлены делювиальными суглинками, супесями с включением делювиальной дресвы коренных пород (слабоокатанной гальки и щебня коренных пород). Рыхлые отложения в долинах рек и логов представлены комплексом аллювиально-делювиальных пород (суглинки, глины с песчано-валунно-галечниковыми пойменно-русловыми отложениями). Четвертичные отложения в районе исследования имеют незначительную мощность, которая варьирует от 3 до 5 м, местами до 10 м. Глины, по сравнению с суглинками, пользуются меньшим распространением. В районе филиала АО «УК» «Кузбассразрезуголь» «Калтанский угольный разрез» (далее – Алардинское месторождение) четвертичные отложения представлены аллювиальными отложениями в долинах рек и элювиально-делювиальными суглинками, глинами, супесями, песками и галечниками в местах водоразделов, их мощность варьирует от 20 до 60 м.

В связи с тем, что результаты научных данных и исследований почвенного покрова изучаемой территории показали, что по запасам плодородного слоя почвы исследуемый район является остродефицитным [42]. Кроме того, почвы сформированы под пологой черневой тайгой с сильно всхолмленным, практически горным рельефом, имеют маломощный профиль, поэтому их селективно не снимают и не используют для создания верхнего,

корнеобитаемого слоя на техногенных отвалах при проведении рекультивации нарушенных земель. Потенциально плодородных пород (чистых покровных суглинков), обладающих благоприятными свойствами для развития растительного покрова в районе Алардинского месторождения, достаточно для реализации разных целей рекультивации нарушенных земель. В предгорьях Кузнецкого Алатау и Горной Шории, где располагается АО «Разрез Распадский» и другие угледобывающие разрезы, наблюдается острый дефицит этого ценного ресурса. Поэтому были проведены комплексные лабораторные исследования основных вскрышных и вмещающих пород в соответствии со стратиграфической колонкой месторождения полезных ископаемых с целью выявления наиболее пригодных пород для экологически эффективной рекультивации нарушенных земель.

Минералогический состав пород

Песчаник полимиктовый (кольчугинская подсерия, горизонт +200, Распадское месторождение) серого цвета с однородной текстурой и тонкозернистой алевролито-псаммитовой структурой. По составу породы в основном кварц-гидрослюдистые, кварц-полевошпат-хлорит-гидрослюдистые. Кварц и полевой шпат присутствуют и в составе обломков песчаника. Цемент песчаника порово-контактный, состав цемента кремнисто-слюдистый с примесью гетита (гидроокислы железа). Гидроокислы железа весьма интенсивно развиваются как по цементу, так и по обломкам. В минеральном составе песчаника преобладает кварц – 44 %; полевой шпат – 25 %; гидрослюда и хлорит – 28 %; гидроокислы железа (гетит) – 3 %.

Песчаник (кольчугинская подсерия, горизонт +500, Распадское месторождение) светло-серой окраски с разномзернистой текстурой – от слабослоистой до беспорядочной. Структура в основном псаммитовая. По минеральному составу исследуемые образцы представлены в основном кварц-полевошпатовыми, глинистыми и карбонатными обломками. Причем глинистые минералы играют роль цемента. Карбонаты представлены в основном кальцитом (CaCO_3) или сидеритизированным кальцитом

$((\text{Ca},\text{Fe})\text{CO}_3)$. Рудные минералы – гетитом (гидроокислы железа) и гидрогетитом, а также эпизодически ильменитом в виде отдельных микрокристаллов черного цвета (рисунок 4.6). В основной массе обломков песчаника встречаются кристаллы апатита. Апатит встречается эпизодически в форме мелких одиночных кристаллов или в виде включений в кварц-полевошпатовых обломках. В минеральном составе песчаника преобладают кварц – 44 %; полевой шпат – 28 %; гидромусковит – 18 %; смешанослойные минералы гидрослюда и монтмориллонита – 7 %; гидроокислы железа (гетит) – 3 % (рисунок 4.7).

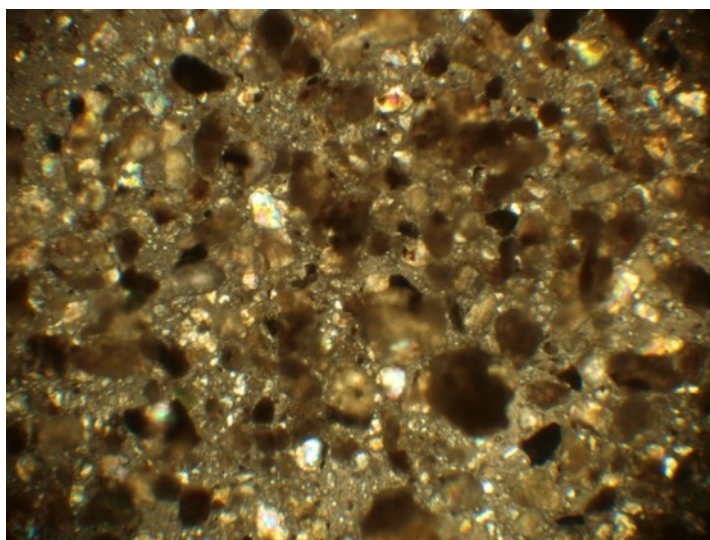


Рисунок 4.6 – Песчаник. Проходящий свет, ув. $\times 100$

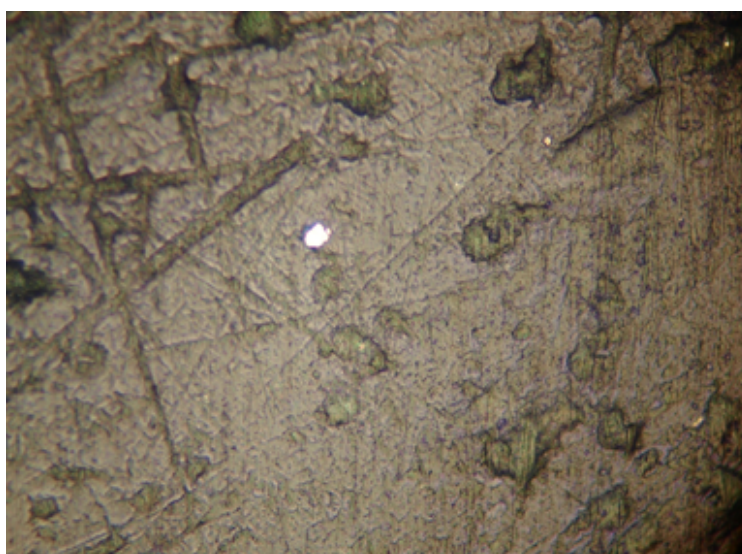


Рисунок 4.7 – Пр. 2/07.10 Рудные минералы в основной массе песчаника.

Отраженный свет, ув. $\times 200$

Песчаник полимиктовый выветрелый (балахонская серия, горизонт +375, Алардинское месторождение) характеризуется рыжим цветом, на свежем сколе желтовато-коричневым с полосчатой структурой за счет наличия рыжих глинистых прослоев мощностью до 3 – 5 мм. Порода выветрелая. Структура равномернoзернистая, мелкозернистая, псаммитовая. В составе преобладают обломки кремнистых, кварц-полевошпатовых, кварц-полевошпат-гидрослюдистых осадочных и вулканогенно-осадочных пород. Цемент пленочно-контактный, состав цемента гидрослюдисто-гетитовый. В минеральном составе песчаника преобладают кварц – 50 %; полевой шпат – 19 %; гидрослюда и хлорит – 29 %; гидроокислы железа (гетит) – 2 %.

Алевролит (кольчугинская серия, горизонт +450, Распадское месторождение) – порода характеризуется светло- и тёмно-серой окраской с неравномерной параллельной, волнистой слоистостью. В петрографическом составе отмечается скопление углистого и растительного материала, текстура слоистая. Тип цементации поровый, пленочно-поровый. Состав цемента гидрослюдисто-монтмориллонитовый. В минеральном составе алевролита преобладают кварц, полевой шпат, слюда и гетит.

Аргиллит карбонатно-глинистый с примесью углистого вещества (кольчугинская серия, горизонт +100, Распадское месторождение) – порода темно-серого цвета с ритмично-слоистой текстурой. Структура зернистая с раковистым изломом. Углистое вещество равномерно распределяется в породе и представлено в виде мелких изометричных частичек с размером менее 0,02 мм. В минеральном составе преобладают кварц – 44 %; гидрослюда и хлорит – 34 %; полевой шпат – 10 %; карбонат – 10 %; гидроокислы железа (гетит) – 2 %. В образце присутствует углистый материал (около 2 %). Следует отметить, что во всех изучаемых образцах четвертичных отложений, независимо от горизонта залегания, доминируют набухающие минералы, такие как гидрослюда, гидромусковит, хлорит, смешаннослойные минералы и минералы монтмориллонитовой группы (таблица 4.6). Данные минералы относятся к важнейшим глинистым минералам, отмечается их особая ценность

из-за высокой дисперсности, значительной поглотительной способности [168, 169]. Минералы группы гидрослюд являются источником калия для растений.

Техногенный элювий Распадского месторождения

Основной минеральный состав исследуемых образцов – кварц-полевошпатовые и глинистые минералы (гидромусковит). Мелкие изометричные кварц-полевошпатовые кристаллы сцементированы глинисто-карбонатным цементом. Гетит (рудный минерал) распределен равномерно в виде включений на поверхности образцов. Угольные частички – до 2 %.

Минералы в основном глинистого состава.

Таблица 4.6 – Результаты исследований рентгено-физического анализа рыхлых четвертичных отложений

Вскрышная порода	Содержание минералов, %	Наименование минералов
1. Четвертичные отложения (покровные суглинки) Алардинского месторождения	40	Кварц
	28	Гидрослюда
	22	Полевой шпат
	10	Монтмориллонит
2. Четвертичные отложения (покровные суглинки) Распадского месторождения	30	Кварц
	28	Гидромусковит
	24	Полевой шпат
	10	Смешаннослойные гидрослюда-монтмориллонит
	8	Хлорит
3. Четвертичные отложения (суглинки с включением слабоокатанной гальки и щебня коренных пород) Распадского месторождения	28	Гидромусковит
	26	Кварц
	20	Полевой шпат
	16	Смешаннослойные гидрослюда-монтмориллонит
	10	Хлорит

Следует отметить, что во всех изучаемых образцах четвертичных отложений, независимо от горизонта залегания, преобладают набухающие минералы, такие как гидрослюда, гидромусковит, хлорит, смешанно-слойные минералы и минералы монтмориллонитовой группы (таблица 4.6). Данные минералы относятся к важнейшим глинистым минералам, отмечается их

особая ценность, как высокая дисперсность, значительная поглотительная способность [168 – 170]. Минералы группы гидрослюдов являются источником калия для растений. Вышеперечисленные свойства минералов способны существенно влиять на агрохимические и физические параметры техногенных почв (техноземов и эмбриоземов), в особенности на гидрофизические свойства, а именно на удержание и доступность запасов почвенной влаги, главным образом это относится к минералам монтмориллонитовой группы. Данные минералы обладают уникальной способностью сильно расширяться при увлажнении, значительно набухать и поглощать воду, что в итоге благоприятно влияет на влажность техногенных почв.

Известно, что развитие растительного покрова и его продуктивность зависят не только от наличия элементов минерального питания, но и от запасов влаги [169]. Количество доступной влаги для растений зависит от гранулометрического состава, а именно от содержания фракции физической глины. Кроме того, скорость трансформации техногенных почв и их дальнейшее функционирование определяется минеральным составом молодых почв, а также содержанием мелкозема и физической глины [20, 36].

На процесс движения влаги в почве, в том числе и в техногенных почвах, и смачиваемости влияют гидрофильные и гидрофобные свойства: чем больше органического вещества в почве, в сравнении с минеральной частью, тем поверхность становится более гидрофобной [171 – 173].

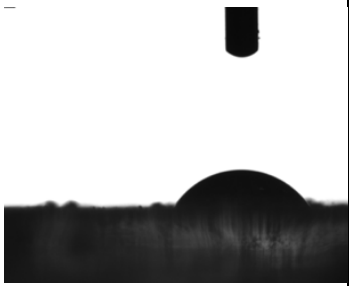
По результатам многочисленных исследований [174, 175] установлено, что если контактный угол менее 90 град., то поверхность хорошо смачивается и является гидрофильной, напротив, при более 90 град. поверхность не смачивается и оказывается гидрофобной [173, 174].

Наличие разных глинистых минералов обеспечивает существенную гидрофильность пород. Безусловно, адсорбционные центры в глинистых породах находятся на контакте гидрофильной части поверхности зерен первичных минералов, таких как кварц и полевые шпаты. Однако вклад глинистых минералов за счет большей площади удельной поверхности

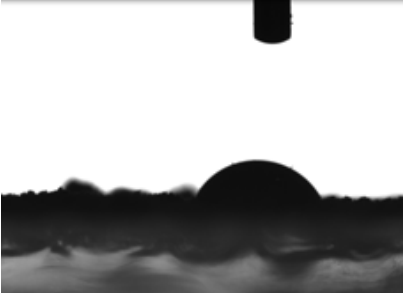
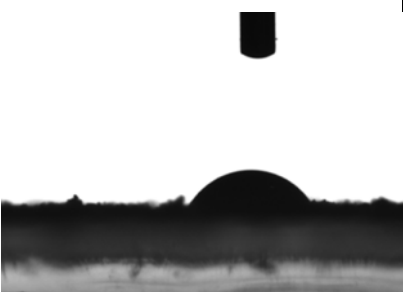
значительно выше. Соответственно, чем больше глинистых минералов в образце, особенно минералов монтмориллонитовой группы, тем выше гидрофильность поверхности [173].

Из результатов исследований основных вскрышных пород (песчаник, аргиллит, четвертичные отложения (суглинки)) следует, что все образцы обладают гидрофильной поверхностью (таблица 4.7) [175]. Однако наибольшей гидрофильностью обладают четвертичные отложения (суглинки) за счет доминирования глинистых минералов. Вызывает интерес, что прочные вскрышные породы (песчаники, алевролиты) также являются гидрофильными. С одной стороны, понятно, что в состав песчаников и алевролитов входят первичные минералы, такие как кварц, полевые шпаты, а также глинистые минералы в виде цемента (гидрослюда, хлориты), которые обладают адсорбционными свойствами. С другой стороны, известно, что чем больше площадь активной поверхности, тем выше гидрофильность (рисунок 4.7) [42]. Отмечается, что площадь активной поверхности у обломков минеральных частиц основных вскрышных пород (песчаники, алевролиты и аргиллиты) схожа и очень незначительна, даже несмотря на то, что размеры минеральных частичек этих пород разные [35, 42].

Таблица 4.7 – Поверхностные свойства вскрышных пород различного минерального состава

Вскрышная порода	Минеральный состав, %	Доля фракций диаметром (мм), % <0,01 мм	Фотоизображение капли	Краевой угол смачивания, град. (среднее значение)
1. Четвертичные отложения (суглинки с включением слабоокатанной гальки и щебня коренных пород Распадского месторождения)	гидромусковит – 28 кварц – 26 полевой шпат – 20 смешаннослойные гидрослюда-монтмориллонит – 16 хлорит – 10	36,0		58,08

Продолжение таблицы 4.7

Вскрышная порода	Минеральный состав, %	Доля фракций диаметром (мм), % <0,01 мм	Фотоизображение капли	Краевой угол смачивания, град. (среднее значение)
2. Песчаник полимиктовый выветрелый (балахонская серия Алардинского месторождения)	кварц – 50 полевой шпат – 19 гидрослюда и хлорит – 29 гидроокислы железа (гетит) – 2	–		79,06
3. Аргиллит карбонатно-глинистый с примесью углистого вещества (кольчугинская серия Распадского месторождения)	кварц – 42 полевой шпат – 10 гидрослюда и хлорит – 34 гидроокислы железа (гетит) – 2 карбонаты – 10 углистое вещество – 2	–		68,12

Соответственно, физическая дезинтеграция вскрышных пород, климатическое воздействие, петрографический состав не оказывают существенного влияния на увеличение площади активной поверхности и на гидрофильность. Отмечается, что только при увеличении дисперсности вскрышных пород до 0,25 мм начинают работать те различия, которые обусловлены минералогическим составом [42].

Результаты оценки смачивающих свойств подтверждают, что вскрышные породы (песчаники, алевролиты и аргиллиты) обладают гидрофильной поверхностью (таблица 4.7). При этом повышение дисперсности пород (до размера частиц менее 0,25 мм) увеличивает удельную площадь активной поверхности, что усиливает их взаимодействие с водой. Однако в реальных полевых условиях техногенных ландшафтов достигнуть дезинтеграции пород под воздействием физического выветривания до фракций физической глины (от менее 0,25 до 0,01 мм) невозможно.

Почвообразование развивается под воздействием процессов, а именно физического, химического, биофизического и биохимического выветривания, которые имеют очень продолжительный период времени, поэтому в техногенных почвах, образованных на техногенном элювии (смесь песчаников, алевролитов, аргиллитов), наблюдается неблагоприятный водный режим и нарастает ксероморфизм, особенно в первые годы посттехногенного функционирования техногенных почв.

Именно вышеуказанные характеристики обеспечивают способность той или иной вскрышной породы удерживать влагу, создавать «депо» доступной влаги для растений. Соответственно, чем больше доля глинистых минералов во вскрышных породах, тем более благоприятный складывается режим водообеспеченности фитоценозов на отвалах.

Вскрышные и вмещающие породы в процессе добычи полезных ископаемых транспортируются на дневную поверхность, складировются в отвалы и представляют собой хаотичную смесь из песчаников, алевролитов, аргиллитов, называемую техногенным элювием [169].

С течением времени и под воздействием факторов почвообразования техногенный элювий трансформируется в техногенные почвы (эмбриоземы). Растения и животные могут испытывать негативные последствия от загрязнения молодых почв токсичными элементами, и эта токсичность может быть очень значительной. Поэтому во вскрышных породах было исследовано содержание токсичных элементов в валовой и подвижной формах. Из результатов исследований следует, что содержание токсичных элементов в подвижных формах, отражающее уровень доступности для питания растений и миграцию этих элементов в водную среду (кобальт, марганец, медь, цинк, никель, свинец) во всех исследуемых вскрышных породах, не превышает нормируемых показателей для зональных типов почв (таблица 4.8) [176].

Таблица 4.8 – Содержания подвижных форм токсичных элементов
вскрышных пород

Месторождение	Горизонт/ глубина, м	Металлы мг/кг					
		Cu	Zn	Pb	Mn	Co	Ni
Четвертичные отложения (покровные суглинки)							
Распадское месторождение (четвертичные отложения)	до 0,7 м дневной поверхности	<0,4	<1,0	<0,4	6,06	<0,4	0,82
Четвертичные отложения (смесь суглинков с включением слабоокатанной гальки, щебня коренных пород и выветрелого песчаника)							
Распадское месторождение (четвертичные отложения)	до 3 – 5 м дневной поверхности	0,77	2,61	0,75	51,89	<0,4	0,53
Четвертичные отложения (покровные суглинки)							
Алардинское месторождение (четвертичные отложения)	до 2 м от дневной поверхности	0,84	<1,0	0,53	16,80	<0,4	0,55
Песчаник							
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+500	1,46	2,61	0,75	51,89	<0,4	0,53
Песчаник							
Алардинское месторождение (отложения балахонской серии пермского возраста)	+375	1,24	<0,1	<0,5	27,8	<0,4	<0,4
Алевролит							
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+450	2,81	13,3	0,85	32,1	0,59	1,43
Переслаивание песчаника и алевролита							
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+300	2,64	3,72	0,99	103	1,01	0,90
Переслаивание песчаника и алевролита							
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+200	2,79	2,25	5,22	100,1	<0,4	0,73
Песчаник							
Алардинское месторождение (отложения балахонской серии пермского возраста)	+320	1,47	2,12	2,50	79,5	1,26	2,10
Алевролит							
Алардинское месторождение (отложения балахонской серии пермского возраста)	+300	2,68	5,77	5,79	5,76	<0,4	0,87

Продолжение таблицы 4.8

Месторождение	Горизонт/ глубина, м	Металлы мг/кг					
		Cu	Zn	Pb	Mn	Co	Ni
Аргиллит карбонатно-глинистый с примесью углистого вещества							
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+100 (кровля пласта)	2,97	1,75	3,66	139	0,41	0,97
ПДК для почвы с учетом фона		3,0	23,0	6,0	140	5,0	4,0

Из результатов исследования содержания токсичных элементов в валовой форме вскрышных пород следует, что практически все элементы содержатся в концентрациях ниже ПДК, ОДК и не превышают нормируемых показателей для зональных типов почв (таблица 4.9). В структуре почвенного покрова исследуемых объектов зональных почв преобладают почвы с кислой или слабокислой реакцией среды, соответственно для сравнения результатов исследуемых образцов использовались величины ОДК [176].

Таблица 4.9 – Содержание валовых форм токсичных элементов

Месторождение	Горизонт/ глубина	Металлы, мг/кг								
		V	Cu	Cr	Pb	Ni	Zn	Hg	Mn	As
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Четвертичные отложения (покровные суглинки)										
Распадское месторождение (четвертичные отложения)	до 0,7 м от дневной поверх- ности	110	56	52	18	52	73	0,02	1000	6,8
Четвертичные отложения (покровные суглинки)										
Алардинское месторождение (четвертичные отложения)	до 2 м от дневной поверх- ности	120	55	68	17	52	81	<0,02	960	7,4
Песчаник										
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+500 (кровля пласта)	55	43	37	11	30	14	0,05	311	6,45
Песчаник										
Алардинское месторождение (отложения балахонской серии пермского возраста)	+375	64	47	64	31	31	41	0,03	740	6,87

Продолжение таблицы 4.9

Месторождение	Горизонт/ глубина	Металлы, мг/кг								
		V	Cu	Cr	Pb	Ni	Zn	Hg	Mn	As
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Алевролит										
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+450	72	33	250	1	46	110	0,09	310	5,80
Переслаивание песчаника и алевролита										
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+300	75	20	60	16	45	59	0,07	680	9,6
Переслаивание песчаника и алевролита										
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+200	81	53	57	24	31	63	0,4	560	3,19
Песчаник										
Алардинское месторождение (отложения балахонской серии пермского возраста)	+320	52	44	52	24	24	17	0,02	550	4,64
Алевролит										
Алардинское месторождение (отложения балахонской серии пермского возраста)	+300	56	46	56	28	28	85	0,02	310	4,02
Аргиллит карбонатно-глинистый с примесью углистого вещества										
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+100	100	51	62	12	30	50	0,04	160 0	3,19
ПДК для почвы с учетом фона, ОДК мг/кг		150,0	33/6 6/13 2*	—	32/6 5/13 0*	20/4 0/80 *	55/1 10/2 20*	2,1	150 0,0	2/5/ 10*

*ОДК (ориентировочно допустимые концентрации) химических веществ для различных групп почв: песчаных и супесчаных, кислых

суглинистых и глинистых ($\text{ph KCl} < 5,5$) и близких к нейтральным и нейтральных ($\text{ph KCl} > 5,5$).

Из результатов исследования средней плотности вскрышных и вмещающих пород следует, что показатели плотности незначительно изменяются с глубиной: песчаники от 2,41 до 2,57 г/см³, переслаивание песчаника с алевролитом до 2,60 г/см³, средняя плотность аргиллита составляет 2,57 г/см³ (таблица 4.10).

Четвертичные отложения и песчаники, сосредоточенные наиболее близко к земной поверхности, обладают наименьшей средней плотностью.

Следует отметить, что средняя плотность в образцах лежалых песчаников на поверхности техногенного ландшафта (более шести лет), находившихся под постоянным воздействием внешних факторов окружающей среды, не изменилась и составляет от 2,51 до 2,57 г/см³.

Таблица 4.10 – Результаты исследований средней плотности вскрышных и вмещающих пород

Вскрышная порода по стратиграфии, горизонт/глубина	Средняя плотность, г/см ³
Распадское месторождение (четвертичные отложения и отложения кольчугинской серии пермского возраста)	
1. Четвертичные отложения (покровные суглинки), до 0,7 м от дневной поверхности	$\frac{1,56 - 1,74^*}{1,71^{**}}$
2. Четвертичные отложения (суглинки с включением слабоокатанной гальки и щебня коренных пород), до 3 – 5 м от дневной поверхности	$\frac{1,74 - 1,94^*}{1,94^{**}}$
3. Песчаник выветрелый, +500	$\frac{2,39 - 2,40^*}{2,40^{**}}$
4. Песчаник с включением гальки, +500	$\frac{2,40 - 2,41^*}{2,41^{**}}$
5. Песчаник, +450	$\frac{2,56 - 2,57^*}{2,56^{**}}$
6. Песчаник, +300	$\frac{2,56 - 2,57^*}{2,57^{**}}$
7. Переслаивание песчаника с алевролитом, +300	$\frac{2,54 - 2,58^*}{2,60^{**}}$
8. Переслаивание песчаника с алевролитом, +200	$\frac{2,62 - 2,60^*}{2,60^{**}}$
9. Аргиллит, +100	$\frac{2,60 - 2,55^*}{2,57^{**}}$

Продолжение таблицы 4.10

Вскрышная порода по стратиграфии, горизонт/глубина	Средняя плотность, г/см ³
Алардинское месторождение (четвертичные отложения и отложения балахонской серии пермского возраста)	
10. Четвертичные отложения (покровные суглинки), до 2 м от дневной поверхности	$\frac{1,76 - 1,78^*}{1,77^{**}}$
11. Песчаник выветрелый, +375	$\frac{2,35 - 2,41^*}{2,38^{**}}$
12. Песчаник, +320	$\frac{2,45 - 2,47^*}{2,47^{**}}$
13. Алевролит, +300	$\frac{2,65 - 2,57^*}{2,60^{**}}$
Вскрышные породы с техногенного ландшафта (более 6 лет)	
14. Песчаник с поверхности техногенного отвала (возраст более 6 лет, выветрелый)	$\frac{2,50 - 2,54^*}{2,51^{**}}$
15. Песчаник с поверхности техногенного ландшафта (возраст более 6 лет)	$\frac{2,55 - 2,56^*}{2,57^{**}}$

* – диапазон;

** – среднее значение.

В ненарушенных экосистемах почва является источником элементов питания для жизнедеятельности растений. Соответственно, из почвы растения получают все важные минеральные вещества, такие как азот, калий, фосфор, сера, магний, кальций, железо, медь, цинк, молибден и др. Особенно важно поддерживать гармонию основных элементов питания в доступной для растений форме, а именно калия, фосфора и азота. Поэтому от исходного содержания основных элементов питания для растений во вскрышных породах, складированных на дневную поверхность, в рамках технологического процесса горнодобывающего производства зависит, насколько оптимальным будет созданный режим питания.

В приложении А приведены разновидности вскрышных пород по основным агрохимическим, физико-химическим показателям и содержание элементного состава вскрышных пород (массовая доля элементов, %) для горно-таежной подзоны Кузбасса.

Из результатов исследования агрохимических свойств вскрышных пород следует, что породы по содержанию подвижной формы калия характеризуются высокой и очень высокой обеспеченностью (125 – 294 мг/кг)

(приложение А). Поскольку минеральный состав представлен полевыми шпатами и гидрослюдой, можно сказать, что вскрышные породы являются источником калия для питания растений (приложение А). По содержанию фосфора в доступной форме для растений вскрышные породы, такие как песчаник, алевролиты и аргиллиты, характеризуются его обеспеченностью от очень низкого до среднего (менее 12,5 и до 51,5 мг/кг), и напротив, четвертичные отложения (суглинки) – от среднего до повышенного (88,4 до 411 мг/кг) (приложение А). Повышенное содержание валового фосфора в четвертичных отложениях данного района изменяется от 0,14 до 0,30 % [159].

Исследования вскрышных пород показали, что породы, такие как аргиллит карбонатно-глинистый с примесью углистого вещества, имеют особенность (наличие углистого вещества), что обеспечивает высокое содержание органического углерода. Наибольшее содержание углерода зафиксировано во вскрышных породах (алевролитах, переслаивающихся песчаниках и алевролитах, аргиллитах), его массовая доля составляет 1,7– 5,4 %. Следует отметить, что в песчаниках с глубиной также отмечается высокое содержание углерода – до 3,8 %; такое увеличение связано с наличием карбонатов. Общее содержание азота во вскрышных породах изменяется от 0,05 до 0,19 %. В алевролитах и аргиллитах происходит увеличение общего содержания азота за счет присутствия углистого материала (приложение А).

Несмотря на то, что в алевролитах и аргиллитах увеличивается содержание органического углерода, гумусовые вещества педогенного происхождения присутствуют только в четвертичных отложениях (покровных суглинках). Известно, что глинистые минералы могут быть источником информации и «почвенной памяти». В «почвенной памяти» глинистых минералов записывается информация о концентрациях органических кислот [177]. Отмечается, что содержание органического вещества является важной характеристикой и является показателем плодородия почв и экологического состояния.

Результаты гранулометрического анализа показывают, что в образцах четвертичных отложений содержание фракции физической глины варьируется от 34 до 68 %, емкость катионного обмена – в диапазоне от 21 до 28 мг-экв/100 г. Емкость катионного обмена в песчаниках и алевролитах низкая и изменяется в пределах от 4,1 до 8,7 мг-экв/100 г. (приложение А).

В аргиллитах емкость катионного обмена заметно увеличивается, изменяется от 12,8 до 14,0 мг-экв/100 г. Рост емкости катионного обмена в аргиллитах, как и в образцах четвертичных отложений, прежде всего обусловлен наличием высокодисперсных частиц, глинистых минералов, которые обладают высокой поглотительной способностью (приложение А) [178].

Основными агрохимическими свойствами корнеобитаемого слоя почв принято считать тот набор показателей, который включает содержание основных биогенных элементов, определяющих рост и развитие растений, а также степень их доступности в конкретных условиях. Эти условия зависят от состояния элемента в почвах, степени его подвижности и реакции почвенного раствора (рН), где происходит основная часть химических превращений. Оптимальными считаются значения, при которых величина почвенного раствора составляет 7. Чем ниже рН, тем выше концентрация ионов водорода в суспензии, и наоборот. Неблагоприятными для роста и развития растений и, соответственно, для восстановления техногенным ландшафтом своих экологических функций считаются величины рН ниже 4,5 и выше 8,5 (приложение А). Установлено, что вскрышные породы (песчаник с горизонта +190, алевролиты, аргиллиты) имеют щелочную реакцию среды (рН 6,7 – 9,1), что может оказывать влияние на развитие растительного покрова и почвообразовательный процесс. В четвертичных отложениях фиксируется наиболее благоприятная величина рН, от 6,7 до 7,2 [179].

Все исследуемые образцы можно отнести по химическому составу к силикатам и алюмосиликатам. Установлено, что в образцах преобладают оксиды кремния (59,94 – 85,92 %), алюминия (10,32 – 15,77 %) и железа (1,46

– 10,97 %). Оксидом железа богаты четвертичные отложения и аргиллиты на карбонатно-глинистом цементе с примесью углистого вещества. Содержание оксида кальция изменяется в диапазоне от 0,40 до 9,62 %, особенно преобладает в песчаниках Алардинского месторождения (горизонт +190) за счет значительного количества карбонатов, содержание оксида магния – от 0,19 до 3,07 %. Содержание серы незначительное (приложение А).

Содержание водорастворимых солей во всех исследуемых образцах вскрышных пород (в сухом остатке) составляет не более 0,10 %.

Для оценки экотоксикологической опасности вскрышных и вмещающих пород применялся метод биотестирования с использованием тест-организмов разных трофических уровней, в частности – на ракообразных (*Daphnia magna* Straus и водорослей *Scenedesmus quadricauda* (рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 – Оценка экотоксикологической опасности вскрышных и вмещающих пород методом биотестирования с применением разных тест-организмов в АО «Западно-Сибирский испытательный центр»

Исследования с использованием разных методов биотестирования для определения токсичного (мутагенного) эффекта широко используются разными исследователями, результаты применения методов биотестирования показали высокую чувствительность при оценке экотоксикологического

состояния разных грунтов и пород [180 – 185]. Следовательно, оценка экологического воздействия вскрышных пород и техногенного элювия должна включать не только физико-химические методы, но и биотестирования (таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Разновидности вскрышных пород по основным биологическим показателям для горно-таежной подзоны Кузбасса

Месторождение	Горизонт/ глубина	Биотестирование	
		Смертность дафний	Снижение численности водорослей
Четвертичные отложения (покровные суглинки)			
Распадское месторождение (четвертичные отложения)	до 0,7 м от дневной поверхности	(К _{безвр.} 0)*	(К _{безвр.} 1,35)*
Четвертичные отложения (покровные суглинки)			
Алардинское месторождение (четвертичные отложения)	до 2 м от дневной поверхности	(К _{безвр.} 0)*	(К _{безвр.} 1,94)*
Четвертичные отложения (суглинки с включением слабоокатанной гальки, щебня коренных пород и выветрелого песчаника)			
Распадское месторождение (четвертичные отложения)	до 3 – 5 м от дневной поверхности	(К _{безвр.} 0)*	К _{безвр.} 2,94)*
Песчаник			
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+500	(К _{безвр.} 1,75)*	(К _{безвр.} 1,35)*
Песчаник			
Алардинское месторождение (отложения балахонской серии пермского возраста)	+375	(К _{безвр.} 0)*	(К _{безвр.} 2,64)*
Алевролит			
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+400	(К _{безвр.} 0)*	(К _{безвр.} 0)*
Алевролит			
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+450	(К _{безвр.} 0)*	(К _{безвр.} 0)*
Переслаивание песчаника и алевролита			

Продолжение таблицы 4.11

Месторождение	Горизонт/ глубина	Биотестирование	
		Смертность дафний	Снижение численности водорослей
Переслаивание песчаника и алевролита			
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+200	(К _{безвр.} 0,4)*	(К _{безвр.} 1,94) *
Песчаник			
Алардинское месторождение (отложения балахонской серии пермского возраста)	+320	(К _{безвр.} 0)*	(К _{безвр.} 1,50)*
Алевролит			
Алардинское месторождение (отложения балахонской серии пермского возраста)	+300	(К _{безвр.} 0)*	(К _{безвр.} 1,73) *
Аргиллит карбонатно-глинистый с примесью углистого вещества			
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+100	(К _{безвр.} 0)*	(К _{безвр.} 3,25)*

* – не оказывает токсическое действие.

Из проведенных результатов исследования биотестирования вскрышных пород, техногенного элювия с использованием в качестве тест-объектов ракообразных *Daphnia magna Straus* и водорослей *Scenedesmus quadricauda* следует, что во всех изучаемых пробах в водной вытяжке вскрышных пород и техногенного элювия отсутствует экологическая токсичность. Следует отметить, что результаты биотестирования совпадают с результатами физико-химического исследования подвижных форм токсичных элементов во вскрышных породах и техногенном элювии, а именно содержание химических элементов в исследуемых пробах концентрация ниже ПДК, ОДК и не превышает нормируемых показателей для зональных типов почв.

4.3 Комплексная оценка техногенных ресурсов (отходов углеобогащения) для рекультивации земель

Результаты исследований образцов свежих отходов углеобогащения показали, что отходы представлены в виде флотационных отходов «кек» и

породы после углеобогащения. Состав и свойства отходов углеобогащения обусловлены геохимическим составом углей, свойствами вскрышных и вмещающих пород, особенностями технологии обогащения. Плотность флотационных отходов «кек» составляет около $1,0 \text{ г/см}^3$, порозность – более 50 %, влажность – более 38 %. Породы после углеобогащения представлены в виде крупных обломков горных пород (от 1 до 30 см в диаметре), в составе отходов отмечается примесь из углистых частиц. Плотность в породе после обогащения изменяется в пределах от $2,03$ до $2,22 \text{ г/см}^3$, порозность не превышает 40 %. Влажность в породе после обогащения составляет 11 %.

Физические свойства отходов углеобогащения обусловлены их агрегатным состоянием. Основную массу вмещающих пород составляют песчаники (светло-серые и серые, иногда слоистые, тонко- и мелкозернистые) с поровым, базальным и контактными типами цемента карбонатного, глинисто-карбонатного и карбонатно-глинистого состава. Цемент в песчаниках содержится в пределах 17 – 30 %. Характер цементации контактопоровый. Средне- и крупнопесчаная фракции встречаются редко. Минеральный состав представлен кварцем 10 – 18 %, полевыми шпатами 8 – 12 %, кварцитами 3 – 5 %, эффузивами 14 – 18 %; осадочные 23 – 30 % (циркон, рутил, турмалин) [186].

Алевролиты состоят преимущественно из базального и базально-парового карбонатно-глинистого цемента, аргиллиты – углисто-глинистого и глинистого состава с различными примесями. Макроскопические серые и темно-серые породы слоистой и микрослоистой текстуры обусловлены слойками гранулометрического состава и разной степени обогащенности угольным веществом и карбонатами. По величине зерен обломочного материала выделяются крупно-, средне- и мелкозернистые алевролиты. Минеральный состав обломочной фракции характеризуется тем же комплексом минералов, что и в песчаниках. Характерна карбонатизация алевролитов. Аргиллиты и углистые разности алевролитов и аргиллитов пользуются меньшим распространением и выделяются в разрезе в виде

маломощных (от 0,1 до 0,5 м) пропластков и линз, приуроченных к непосредственной кровле и почве угольных пластов. По химическому составу отходы углеобогащения можно отнести к силикатному и алюмосиликатному составу. Установлено, что в образцах отходов преобладают оксид кремния SiO_2 («кек» – 34,70 %, породы после углеобогащения – 63,18 %), оксид алюминия Al_2O_3 («кек» – 8,74 %, породы после углеобогащения – 15,24 %), а также оксиды железа («кек» – 4,15 %, породы после углеобогащения – 5,62 %) и кальция («кек» – 4,10 %, породы после углеобогащения – 1,57 %).

Наибольшее значение общего углерода зафиксировано во флотационных отходах «кек» и составляет 41,1 %, содержание общего углерода в породе после обогащения – 5 %. Угли Кузбасса верхнепалеозойского возраста относятся к низкосернистым, содержание серы в «кек» составляет 0,47 %, в породе после обогащения – 0,11 %. По содержанию основных элементов питания азота, калия и фосфора наилучшие показатели выявлены в породе после обогащения. Так, содержание подвижных форм азота составляет 58,4 мг/кг, во флотационных отходах «кек» – 12,6 мг/кг (рисунок 4.12).

Таблица 4.12 – Агрохимические показатели отходов углеобогащения

№ п\п	Наименование образца	C, %	S, %	P_2O_5 , %	K_2O , %	P_2O_5 , мг\кг	K_2O , мг\кг	NH_4 , мг\кг
1	Породы после углеобогащения	5,0	0,11	0,15	3,21	25,3	748,0	58,4
2	«Кек»	41,1	0,47	0,12	1,64	321,9	<12,5	12,6

Высокое содержание подвижных форм азота в породе после обогащения обусловлено тем, что азот находится в минеральной части, в том числе в виде солей и поэтому более доступен для растений и микроорганизмов. Азот в углистых частицах прочно связан с углеродом и поэтому практически недоступен растениям. Также, по содержанию таких важных для плодородия показателей, как подвижный калий и фосфор, породы после обогащения обладают существенным преимуществом (калий – 748,0 мг/кг; фосфор – 25,3 мг/кг) (таблица 4.12). Высокое содержание элементов-органогенов

обусловлено минералогическим составом пород. Результаты исследований исходного сырья (уголь и порода), поступающего на обогатительную фабрику, показали, что значения pH варьируют в интервале от 9,85 до 10,02 ед., что свидетельствует о щелочной реакции раствора. Содержание водорастворимых солей в исходном сырье для обогащения в сухом остатке составляет 0,258 %, сумма токсичных солей не превышает 0,01 %. Реакция среды в отходах углеобогащения также щелочная и изменяется от 10,09 до 10,11 ед. (таблица 4.13).

Таблица 4.13 – Физико-химические свойства отходов углеобогащения

№ п\п	Наименование образца	pH водный	pH солевой	Сумма токсичных солей, %	Сухой остаток, %
1	Породы после углеобогащения	10,09	8,36	<0,01	0,044
2	«Кек»	10,11	8,88	<0,01	0,041

Величина pH обусловлена минералогическим составом породы. Основную массу вмещающих пород составляют песчаники, алевролиты, аргиллиты и углистые частицы. Породы сцементированы карбонатным, глинисто-карбонатным, карбонатным-глинистым и углистоглинистым составами. Карбонаты представлены зернами кальцита, сидерита и доломита. Для алевролитов также характерна карбонатизация. Содержание водорастворимых солей в отходах углеобогащения в сухом остатке составляет 0,041 – 0,044 %, сумма токсичных слоев не превышает 0,01 % (таблица 4.13). Для изучения отходов углеобогащения с целью использования их в рекультивации нарушенных земель проведены исследования содержания токсичных элементов в валовых и подвижных формах. Результаты исследований показали, что концентрации токсичных элементов валовых форм (ванадий, медь, хром, свинец, никель, кадмий, цинк, ртуть, мышьяк, сурьма, кобальт, марганец, молибден) не превышают ПДК и ОДК для почв. Установлено превышение ПДК для валовых форм мышьяка (флотационные отходы «кек» – 7,75 мг/кг, породы после углеобогащения – 9,50 мг/кг). По результатам исследований токсичный элемент мышьяк является

углефильным, в основном содержится в органической части [187] и не превышает ориентировочно допустимые концентрации химических элементов в почве (таблица 4.14). Сырьевой базой для обогатительной фабрики являются запасы углей марки «Г» пластов «Поленовский» и «Болдыревский» шахты имени С.М. Кирова. Попутными компонентами углей являются элементы технологически вредные: сера (0,25 – 0,26 %); токсичные: хлор (0,037 – 0,155 %), мышьяк (0,0013 – 0,009 %). Содержание общего углерода в отходах углеобогащения содержится от 5,0 до 41,1 %.

Таблица 4.14 – Содержание валовых форм токсичных элементов, мг/кг

Наименование показателя	Значение показателя для отходов		ПДК для почвы с учетом фона, ОДК мг/кг
	«Кек»	Порода после обогащения	
Ванадий	145,6	145,6	150,0
Медь	10,0	<10,0	33/66/132*
Хром	60,0	30,0	–
Свинец	14,6	26,4	32/65/130*
Никель	15,8	28,3	20/40/80*
Кадмий	0,26	0,40	0,5/1,0/2,0*
Цинк	43,2	72,0	55/110/220*
Ртуть	0,15	0,07	2,1
Сурьма	0,43	<0,1	4,5
Кобальт	7,0	4,0	–
Марганец	830,0	250,0	1500,0
Молибден	–	–	–
Мышьяк	7,75	9,50	2/5/10*
*ОДК (ориентировочно допустимые концентрации) химических веществ для различных групп почв: песчаных и супесчаных, кислых суглинистых и глинистых (рН КСl < 5,5) и близких к нейтральным и нейтральных (рН КСl > 5,5)			

Таблица 4.15 – Содержания подвижных форм токсичных элементов, мг/кг

Наименование показателя	Значение показателя для отходов		ПДК для почвы с учетом фона, мг/кг
	«Кек»	Порода после обогащения	
Кобальт	0,40	0,54	5,0
Марганец	32,2	96,8	60-140
Медь	0,79	1,46	3,0
Никель	0,86	1,22	4,0
Свинец	1,64	3,11	6,0
Цинк	5,75	1,59	23,0

Содержание токсичных элементов в подвижных формах (кобальт, марганец, медь, никель, свинец, цинк) не превышает нормируемых показателей, характерных для зональных типов почв [188 – 190]. (таблица 4.15).

Для оценки экологической опасности отходов углеобогащения использовались методы биотестирования с разными тест-объектами: определение токсичности с использованием в качестве тест-объекта ракообразных *Daphnia magna Straus* и водорослей *Scenedesmus quadricauda* (таблицы 4.16, 4.17).

Таблица 4.16 – Определение токсичности с использованием в качестве тест-объекта ракообразных *Daphnia magna Straus*, возраст (6 – 24) ч

Наименование пробы	Время наблюдения	Результаты биотестирования	Кратность разведения водной вытяжке, при которой вредное воздействие на тест-объект отсутствует, К безвр.	Оценка тестируемой пробы
«Кек»	96 ч (4 сут.)	Смертность дафний	1	не оказывает токсическое действие
		(в 100 % р-ре) 0 %		
		(в 50 % р-ре) 0 %		
		(в 25 % р-ре) 0 %		
		(в 10 % р-ре) 0 %		
		БКР ₁₀₋₉₆ = 1		
Порода после обогащения	96 ч (4 сут.)	Смертность дафний	1	не оказывает токсическое действие
		(в 100 % р-ре) 0 %		
		(в 50 % р-ре) 0 %		
		(в 25 % р-ре) 0 %		
		(в 10 % р-ре) 0 %		
		БКР ₁₀₋₉₆ = 1		

Таблица 4.17 – Определение токсичности с использованием в качестве тест-объекта водорослей *Scenedesmus quadricauda*

Наименование пробы	Время наблюдения	Результаты биотестирования	Кратность разведения водной вытяжке, при которой вредное воздействие на тест-объект отсутствует, К безвр.	Оценка тестируемой пробы
Кек	96 ч (4 сут.)	Снижение численности водорослей, %	1	не оказывает токсическое действие
		(в 100 % p-pe) 15 %		
		(в 50 % p-pe) 0 %		
		(в 25 % p-pe) 0 %		
		(в 10 % p-pe) 0 %		
		БКР ₂₀₋₇₂ = 1		
Порода после обогащения	96 ч (4 сут.)	Смертность дафний	1	не оказывает токсическое действие
		(в 100 % p-pe) 5 %		
		(в 50 % p-pe) 0 %		
		(в 25 % p-pe) 0 %		
		(в 10 % p-pe) 0 %		
		БКР ₂₀₋₇₂ = 1		

Выводы по главе 4

Результаты научных данных и исследований почвенного покрова горно-таежной подзоны Кузбасса показали, что по запасам плодородного слоя почвы исследуемый район является остродефицитным, запасы плодородного слоя менее 2,5 тыс. т/га [42]. Кроме того, почвы сформированы под пологой черневой тайгой с сильно всхолмленным, практически горным рельефом, имеют маломощный профиль, поэтому их селективно не снимают и не используют для создания верхнего, корнеобитаемого слоя на техногенных отвалах при проведении рекультивации нарушенных земель. Потенциально плодородных пород (чистых покровных суглинков), обладающих благоприятными свойствами для развития растительного покрова, в районе Алардинского месторождения достаточно для реализации разных целей

рекультивации нарушенных земель. В предгорьях Кузнецкого Алатау и Горной Шории, где располагается АО «Разрез Распадский» и другие угледобывающие разрезы, наблюдается острый дефицит этого ценного ресурса.

Почвы в лесостепной подзоне Кузбасса представлен самыми ценными ресурсами – черноземами выщелоченными. Результаты литературных данных и исследований почвенного покрова изучаемой территории показали, что по запасам плодородного слоя почвы исследуемый район является достаточным для создания искусственных почв (техноземов) и осуществления любых целей рекультивации земель, в том числе и в сельскохозяйственных [42]. Почвы в районе исследования являются ценным ресурсом для агропромышленного комплекса.

На основании результатов исследования петрографического и минералогического составов показано, что основные вскрышные и вмещающие породы представлены песчаниками, алевролитами, реже аргиллитами и четвертичными породами. В минеральном составе основных вскрышных и вмещающих пород преобладают кварц, полевые шпаты. В виде цемента представлены гидрослюда, хлорит, гидромусковит, смешаннослойные минералы и монтмориillonит, а также гидроокислы железа. По химическому составу все исследуемые образцы можно отнести к силикатам и алюмосиликатам.

Установлено, что во всех четвертичных отложениях, независимо от горизонта залегания пород, преобладают кварц и глинистые минералы (гидрослюда, гидромусковит, хлорит, смешаннослойные минералы и минералы монтмориillonитовой группы), имеющие высокую дисперсность, значительную поглонительную способность, что оказывает существенное влияние на гидрофизические свойства, гидрофильность, а именно способность создавать «депо» доступной влаги для растений; это благоприятно сказывается на водообеспечении фитоценозов.

Из исследований гранулометрического состава следует, что в образцах четвертичных отложений фракция физической глины изменяется от 37 до 69 %, ёмкость катионного обмена варьируется в диапазоне от 21 до 28 мг-экв/100 г. Ёмкость катионного обмена в песчаниках и алевролитах низкая и изменяется в пределах от 4,1 до 7,1 мг-экв/100 г, в аргиллитах увеличивается и составляет от 12,8 до 14,0 мг-экв/100 г. Рост ёмкости катионного обмена в аргиллитах, как и в образцах четвертичных отложений, прежде всего обусловлен наличием высокодисперсных частиц глинистых минералов.

Установлено, что все исследуемые образцы основных вскрышных и вмещающих пород (песчаник, аргиллит, четвертичные отложения) обладают гидрофильной поверхностью. Имеют преимущество гидрофильности четвертичные отложения (суглинки) за счет доминирования глинистых минералов. Отмечается, что только при увеличении дисперсности вскрышных пород до 0,25 мм начинают работать те различия, которые обусловлены минералогическим составом. Результаты оценки смачивающих свойств подтверждают, что вскрышные породы (песчаники, алевролиты и аргиллиты) обладают гидрофильной поверхностью. При этом повышение дисперсности пород (до размера частиц менее 0,25 мм) увеличивает удельную площадь активной поверхности, что усиливает их взаимодействие с водой. Однако в реальных полевых условиях техногенных ландшафтов достигнуть дезинтеграции пород под воздействием физического выветривания до фракций физической глины (менее 0,25 до 0,01 мм) невозможно, поскольку почвообразование развивается под воздействием процессов выветривания, а именно физического, химического, биофизического и биохимического, а для этого требуется очень продолжительный период времени. Поэтому в техногенных почвах, образованных на поверхности из смеси основных вскрышных и вмещающих пород, наблюдается неблагоприятный водный режим, нарастает ксероморфизм, особенно в первые годы посттехногенного функционирования техногенных ландшафтов.

Показано, что вскрышные и вмещающие породы по химическим и биологическим свойствам не являются токсичными для живых организмов. Содержание водорастворимых солей во всех породах в сухом остатке составляет не более 0,10 %. Содержание валовых и подвижных форм токсичных элементов во всех исследуемых образцах находится в концентрациях ниже ПДК, ОДК и не превышает нормируемых показателей, также этот факт подтверждается результатами биотестирования.

Выявлено, что все вскрышные и вмещающие породы являются источником доступного калия для растений (от 64,5 до 367 мг/кг). По содержанию фосфора в доступной форме для растений породы, такие как песчаник, алевролиты и аргиллиты, характеризуются от очень низкого до среднего (менее 12,5 и до 91,4 мг/кг), и, напротив, четвертичные отложения (суглинки) – от среднего до повышенного (88,4 – 411 мг/кг). В аргиллитах показана особенность – наличие углистого вещества, что обеспечивает высокое содержание общего углерода, однако содержание органического вещества педогенного происхождения присутствует только в суглинках. Наибольшие значения органического углерода зафиксированы во вскрышных и вмещающих породах (алевролитах, переслаиваниях песчаников и алевролитах, аргиллиты) и составляют от 0,17 до 5,30 %. Следует отметить, что в песчаниках с глубиной также отмечается высокое содержание углерода до 3,8 %, такое увеличение связано с наличием карбонатов. Общее содержание азота во вскрышных и вмещающих породах изменяется от 0,05 до 0,19 %. В алевролитах и аргиллитах отмечается увеличение общего содержания азота за счет присутствия углистого материала. Несмотря на то, что в алевролитах и аргиллитах увеличивается содержание органического углерода, гумусовые вещества педогенного происхождения присутствуют только в четвертичных отложениях (суглинках).

Показано, что практически все вскрышные и вмещающие породы имеют щелочную реакцию среды (рН 8,2 – 9,1). Наиболее благоприятные показатели

pH зафиксированы в четвертичных отложениях (pH 6,9 – 7,1), что будет оказывать положительное влияние на развитие растительного покрова.

Результаты исследований состава отходов углеобогащения с обогатительной фабрики показали, что отходы представлены смесью из породы после углеобогащения и отходы флотационного обогащения – «кек». Установлено, что наибольшей плотностью и прочностью характеризуются мелкозернистые песчаники, наименьшей – алевролиты на углистом цементе. По химическому составу отходы углеобогащения можно отнести к силикатному и алюмосиликатному составу. По содержанию основных элементов питания азота, калия и фосфора наилучшие показатели выявлены в породе после углеобогащения. Реакция среды в отходах углеобогащения щелочная и немного превышает 10 – 10,1 ед. Величина pH обусловлена минералогическим составом породы.

Из результатов исследований элементов, входящих в группу тяжелых металлов, в отходах углеобогащения установлено, что концентрации элементов валовых форм (ванадий, медь, хром, свинец, никель, кадмий, цинк, ртуть, сурьма, кобальт, марганец, молибден) не превышают ПДК и ОДК для почв. Содержание токсичных элементов в подвижных формах (кобальт, марганец, медь, никель, свинец, цинк) не превышает нормируемых показателей, характерных для зональных типов почв.

Для оценки экологической опасности отходов углеобогащения использовались методы биотестирования с разными тест-объектами: определение токсичности с использованием в качестве тест-объекта ракообразных *Daphnia magna* Straus и водорослей *Scenedesmus quadricauda*. Установлено, что водная вытяжка из отходов углеобогащения не оказывает токсического действия на живые организмы.

Из результатов лабораторных исследований техногенных ресурсов (свежие отходы углеобогащения) следует, что основными лимитирующими показателями использования отходов углеобогащения для биологической рекультивации земель, а именно для создания искусственных почв

(техноземов) является высокая плотность, щелочная реакция среды и высокое содержание общего углерода.

Таким образом, комплексные почвенно-экологические исследования вскрышных и вмещающих пород позволили определить главные критерии их пригодности для биологической рекультивации и создания техноземов. Для стабильного развития растительного покрова и формирования почв определяющее значение имеют: содержание глинистых минералов, физической глины и мелкозема; наличие доступных элементов питания; благоприятные показатели pH; концентрация водорастворимых веществ (сухой остаток) и плотность пород.

В соответствии с критериями пригодности вскрышные и вмещающие породы ранжированы на категории пригодности. Категория пригодности пород показывает наилучшие литогенные ресурсы для рекультивации земель.

Показано, что наилучшими литогенными ресурсами для биологической рекультивации земель и создания искусственных почв (техноземов) на поверхности техногенных ландшафтов в горно-таежной подзоне Кузбасса являются плодородный слой почвы и ППП (четвертичные отложения I категории – покровные суглинки), далее – четвертичные отложения I категории. При дефиците четвертичных отложений I категории для создания искусственных почв (техноземов) целесообразно использование ППП (четвертичных отложений II категории – смесь суглинков с включением слабоокатанной гальки, щебня коренных пород и выветрелого песчаника), далее – четвертичные отложения II категории.

Основные каменистые вскрышные и вмещающие породы (песчаники, алевролиты, аргиллиты) не являются токсичными породами и безопасны для биологического освоения, но для создания техноземов являются непригодными по физическим свойствам (высокая средняя плотность и каменистость, незначительная доля глинистых минералов, темно-серая поверхность пород). Следовательно, для создания техноземов данные породы можно использовать только в смесях или послойно: четвертичные отложения

и смесь из основных вскрышных пород (песчаники, алевролиты, аргиллиты). Также можно смесь из основных вскрышных пород принудительно измельчать на дробильно-сортировочных комплексах и смешивать с четвертичными отложениями (можно послойно). Тогда минералогический состав вскрышных пород начнет работать на создание «депо» доступной влаги для растений.

Исследования вещественного состава свежих отходов углеобогащения, определяющие их свойства и направления использования для рекультивации нарушенных земель, выявили факторы, ограничивающие их использование в биологических целях. Такими основными лимитирующими показателями являются: высокая плотность, щелочная реакция среды и высокое содержание углистых частиц.

Глава 5 Экспериментальные исследования внедрения технологии рекультивации земель в процессе ведения горных работ (селективного отвалообразования) для повышения экологической эффективности восстановления растительного и почвенного покрова на участках рекультивации (на примере филиала АО «УК» «Кузбассразрезуголь» «Калтанский угольный разрез»).

5.1 Оценка почвенно-экологической эффективности рекультивации земель после внедрения технологии рекультивации в процессе ведения горных работ (селективного отвалообразования)

Результаты многолетних, ранее проведённых исследований показали, что формирование на поверхности техногенных ландшафтов корнеобитаемого слоя обеспечивает благоприятные эдафические условия. Этот слой создается из литогенных ресурсов – плодородного слоя почвы и потенциально плодородных пород (чистых покровных суглинков) – и наносится на поверхность вскрышных пород [42, 91, 158]. Однако техноземы и эмбриоземы на поверхности техногенных ландшафтов функционируют по-другому, чем естественные почвы.

Для оценки почвенно-экологического состояния участков рекультивации с использованием литогенных ресурсов (покровных суглинков) для формирования техноземов в процессе ведения горных работ в период с 2007 по 2011 гг. на внешнем отвале из вскрышных и вмещающих пород угледобывающего предприятия – филиала АО «УК» «Кузбассразрезуголь» Калтанского угольного разреза были проведены исследования.

На основании проведенных исследований установлено, что почвенно-экологическое состояние исследуемых участков рекультивации, где корнеобитаемый слой представлен покровными суглинками, характеризуется как хорошее, и в структуре почвенного покрова представлены более зрелые почвы: эмбриоземы гумусово-аккумулятивные и дерновые.

Для исследований скорости трансформации почвенного покрова техногенных ландшафтов на участках были заложены почвенные разрезы.

Ключевые экспериментальные участки располагаются на относительно ровной поверхности и имеют следующие характеристики [191]:

1. Внешний автотранспортный отвал «Центральный» представляет собой платообразную поверхность и имеет высоту 50 – 60 м, состоит из двух ярусов по 20 – 30 м каждый [158]. Основание и тело отвала сложены прочной полускальной и скальной породой. Корнеобитаемый слой сформирован из покровных суглинков мощностью около 3 м, площадь всего отвала – 3,9 га. Возраст отвала – 48 лет. Биологический этап с посадкой растений не проводился. Участки почвенных разрезов размещены на относительно ровной площадке с мелкобугристым слабонаклонным рельефом (не более 5 градусов). В соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов почвенный покров исследуемого участка представлен эмбриоземом гумусово-аккумулятивным (участок 1 К).

2. Внешний автотранспортный отвал «Приконтурный» имеет платообразную поверхность. Высота отвала составляет 30 м, состоит из одного яруса. Основание и тело отвала сложены прочной полускальной и скальной породой. Корнеобитаемый слой сформирован из покровных суглинков мощностью около 1 м, площадь всего отвала – 70 га. Формирование корнеобитаемого слоя было выполнено в рамках технического этапа рекультивации в 2011 г., в процессе разработки нового участка «Алардинский-Восточный». После вскрытия участка литогенные ресурсы транспортировали на поверхность внешнего отвала, который достиг конечной высоты и готов полностью к техническому этапу рекультивации для создания искусственных почв – техноземов. Процесс осуществлялся в один производственный цикл. Покровные суглинки транспортировали основным горнотранспортным оборудованием на поверхность отвала для создания рекультивационного, корнеобитаемого слоя мощностью чуть более 1 м [158]. Использовался селективный способ отвалообразования. На биологическом этапе

рекультивации была проведена посадка сосны обыкновенной. Возраст отвала – 13 лет. Участки почвенных разрезов размещены на относительно ровной площадке с мелкобугристым слабонаклонным рельефом (не более 5 градусов). В соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов почвенный покров исследуемого участка представлен эмбриоземом дерновым (участок 2 К).

Полевые обследования участков выполнялись в следующие сроки:

- отвал «Центральный» – 2011 и 2024 гг.;
- отвал «Приконтурный» – в 2024 г.

Почвенно-экологическое состояние (ПЭС) рекультивированных участков оценивалось в соответствии с профилно-генетической классификацией почв техногенных ландшафтов [151, 152, 192].

Расчетная оценка почвенно-экологического состояния молодых почв техногенных ландшафтов осуществлялась с использованием картографирования почвенного покрова. Учитывается соотношение площадей на участке, занятых разными типами почв. Следует отметить, что скорость процессов почвообразования в каждом местообитании техногенных ландшафтов различна и обусловлена индивидуальными особенностями формирования ландшафта, а именно технологией отвалообразования (селективная или валовая), качественным составом вскрышных пород и рельефом. Чем более благоприятные условия, сформированные в процессе технологии отвалообразования и рекультивации земель, тем скорость процессов почвообразования выше, соответственно, техногенные почвы быстрее трансформируются в более зрелые. Считается, что если за относительно короткий срок (20 лет) на поверхности техногенных ландшафтов активно формируются почвенный и растительный покровы, в частности развиваются эмбриоземы гумусово-аккумулятивные, то условия данного местообитания являются благоприятными [41, 42].

В соответствии с принципами оценки почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов, на основе результатов исследований

можно выделить следующие категории состояния участков после рекультивации [41, 42, 193]:

а) неудовлетворительное состояние – почвенный покров исследуемого участка за 20-летний период представлен только эмбриоземами инициальными, скорость процессов почвообразования низкая;

б) удовлетворительное состояние – развитие почвообразования на участке слабое, и к 20-летнему периоду эмбриоземы гумусово-аккумулятивные не образуются;

в) хорошее состояние – наблюдается активное развитие процессов почвообразования, и за 20-летний период на участке формируются эмбриоземы гумусово-аккумулятивные;

г) очень хорошее состояние – наблюдается активное развитие процессов почвообразования, и за 15-летний период на участке формируются эмбриоземы гумусово-аккумулятивные;

д) отличное состояние – наблюдается активное развитие процессов почвообразования, и на участке менее чем за 15 лет формируются эмбриоземы гумусово-аккумулятивные.

Дополнительно в работе была выполнена количественная диагностика почвенно-экологического состояния исследуемых участков рекультивации на основе бонитировочного подхода [194, 195].

Почвенно-экологическое состояние участков рассчитывалось по формуле [193]:

$$\text{ПЭС}_{\text{б.б.}} = B_{\text{п}} K_{\text{с}}, \quad (1)$$

где

$B_{\text{п}}$ – балл бонитета фоновой почвы, составляет 100;

$K_{\text{с}}$ – коэффициент специфичности свойств исследуемых почв по отношению к свойствам зональной ненарушенной, доли ед.

В проведенных расчетах коэффициент специфичности представлен в процентах, балл бонитета эмбриоземов равен коэффициенту специфичности в процентах.

Коэффициент специфичности почвы определяется по основным почвенным показателям. Это содержание физической глины ($K_{с.ф.г.}$), плотность сложения субстрата ($K_{с.п.}$) и содержание гумуса ($K_{с.гум.}$). Если исследуемые участки находятся на склоне или ровной поверхности, необходимо учитывать коэффициент специфичности рельефа ($K_{с.рел.}$). Чем больше почвенные показатели отличаются от свойств естественных, ненарушенных почв, тем меньше K_c .

Коэффициент специфичности по содержанию физической глины рассчитывается по формуле (2):

$$K_{с.ф.г.} = \frac{K_{ф.г.п.тл.} \times 100}{K_{ф.г.эталон}} \quad (2)$$

где $K_{ф.г.п.тл.}$ – содержание физической глины в почвах техногенных ландшафтов (техноземов и эмбриоземов);

$K_{ф.г.эталон}$ – содержание физической глины в естественной почве, принятой за эталон.

Коэффициент специфичности по плотности сложения рассчитывается по формуле (3):

$$K_{с.п.} = \frac{P_{с.эталон} \times 100}{P_{с.п.тл.}} \quad (3)$$

где $P_{с.эталон}$ – плотность сложения естественной почвы, принятая за эталон;

$P_{с.п.тл.}$ – плотность сложения почв техногенных ландшафтов (техноземов и эмбриоземов);

Коэффициент содержания органического углерода (гумуса) определяется по формуле (4):

$$K_{с.гум.} = \frac{Гум.п.тл. \times 100}{Гум.эталон} \quad (4)$$

где $Гум.п.тл.$ – содержание гумуса в почвах техногенных ландшафтов (техноземов и эмбриоземов);

$Гум.эталон$ – содержание гумуса в естественной почве, принятой за эталон.

В связи с тем, что все исследуемые почвы сформированы на выравненной поверхности, $K_{с.рел.}$ равен 1.

Коэффициент специфичности почв рассчитывается как среднее значение коэффициентов специфичности по почвенным показателям с учетом мощности горизонтов:

$$K_c = \frac{K_{с.ф.г.} + K_{с.п.} + K_{с.гум.} + K_{с.рел.}}{4}. \quad (5)$$

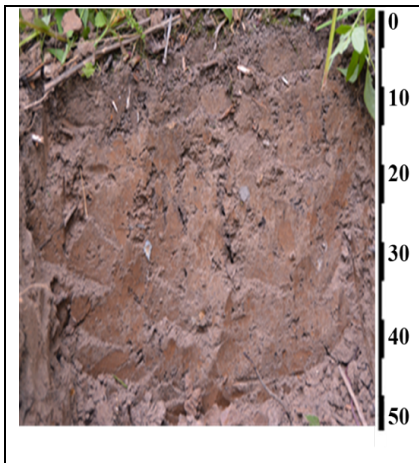
Для расчета ПЭС взяты следующие показатели: содержание органического вещества – 4,2 %; физической глины – 54,0 %; плотность сложения – 1,3 г/см³. В качестве эталона выбраны дерново-глубокоподзолистые почвы.

Состав почвенного покрова и их морфологическая диагностика

Площадка рекультивации, разрез № 1 К

Внешний автотранспортный отвал, селективное отвалообразование, способ – бульдозерный. Сформированные техноземы из покровных суглинков, мощностью около 3 м, за 35-летний период под воздействием почвообразовательных и микробиологических процессов в естественных условиях трансформировались в эмбриоземы гумусово-аккумулятивные. В структуре почвенного покрова участка зафиксирован эмбриозем гумусово-аккумулятивный – 100 %. Участки почвенных разрезов заложены на относительно ровной площадке с мелкобугристым слабонаклонным рельефом (не более 5 градусов).

Эмбриозем гумусово-аккумулятивный

	0	A ₀ , 0 – 1 см. Бурый, фрагментарно сухой, рыхлый, мелкокомковатой структуры средний суглинок. Присутствует мох.
	10	A ₁ , 1 – 5 см. Светло-серый, рыхлый, мелкокомковатой структуры средний суглинок. Переход по плотности.
	20	C ₁ , 5 – 20 см. Бурый, сухой, комковато-глыбистой структуры тяжелый суглинок, фиксируется включение камней. В горизонте фиксируются бурые кутаны. Присутствуют дождевые черви.
	50	C ₂ , 20 – 50 см. Бурый, сухой, крупнокомковатой структуры, более плотный тяжелый суглинок. В горизонте присутствуют дождевые черви и единичные корни

Растительность на исследуемом участке представлена древесным и травянисто-кустарниковым ярусами, общее проективное покрытие составляет 95 % (рисунок 5.1). Древесный ярус представлен несколькими экземплярами посадками сосны обыкновенной (*P. sylvestris*), травянисто-кустарничковый ярус с проективным покрытием 95 %.

На исследуемом участке после рекультивации нарушенных земель видовой состав растительности показан 27 видами высших сосудистых растений, в окружении участка отображены: единично берёза повислая (*Betula pendula* Roth), ива козья (*Salix caprea* L.), черёмуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Hedl.) и калина обыкновенная (*Viburnum opulus* L.). Травянистый покров представлен 26 видами, с общим проективным покрытием 95 % (таблица 5.1).

Напочвенный ярус представлен мхами, имеет проективное покрытие 20 %. На участке наблюдается увеличение запасов фитомассы и подстилки (таблица 5.2).

Таблица 5.1 – Растительный покров участка № 1 К

№	Виды	Проективное покрытие, %	
		2021 г.	2024 г.
Деревья			
1	<i>Populus tremula</i> L. (Осина обыкновенная)	10	10
Травы			
2	<i>Urtica dioica</i> L. (Крапива двудомная)	70	60
3	<i>Euphorbia pilosa</i> L. (Молочай волосистый)	40	10
4	<i>Equisetum sylvaticum</i> L. (Хвощ лесной)	30	20
5	<i>Crepis sibirica</i> L. (Скерда сибирская)	20	<10
6	<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop. (Иван-чай узколистный)	20	<10
7	<i>Stellaria bungeana</i> Fenzl (Звездчатка Бунге)	20	–
8	<i>Bupleurum longifolium</i> ssp. <i>aureum</i> (Fisch. ex Hoffm.) Soó (Володушка золотистая)	<10	10
9	<i>Thalictrum minus</i> L. (Василисник малый)	<10	<10
10	<i>Polemonium caeruleum</i> L. (Синюха голубая)	<10	–
11	<i>Cuscuta europaea</i> L. (Повилика европейская)	<10	–
12	<i>Ranunculus acris</i> L. (Лютик едкий)	<10	–
13	<i>Dactylis glomerata</i> L. (Ежа сборная)	<10	10
14	<i>Aegopodium podagraria</i> L. (Сныть обыкновенная)	<10	20

Продолжение таблицы 5.1

15	<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Besser (Бодяк щетинистый)	+	+
16	<i>Asarum europaeum</i> L. (Копытень европейский)	<10	<10
17	<i>Stachys palustris</i> L. (Чистец болотный)	+	+
18	<i>Pulmonaria mollis</i> Wulfen ex Hornem. (Медуница мягкая)	<10	<10
19	<i>Angelica sylvestris</i> L. (Дудник лесной)	–	30
20	<i>Vicia cracca</i> L. (Горошек мышиный)	–	<10
21	<i>Vicia sylvatica</i> L. (Горошек лесной)	–	<10
22	<i>Veronica chamaedrys</i> L. (Вероника дубравная)	–	<10
23	<i>Parasenecio hastatus</i> (L.) Н. Кoyama (Недоспелка копьевидная)	–	+
24	<i>Heracleum sibiricum</i> L. (Борщевик сибирский)	–	<10
25	<i>Agrostis gigantea</i> Roth (Полевица гигантская)	–	<10
26	<i>Milium effusum</i> L. (Бор развесистый)	–	<10
27	<i>Lamium album</i> L. (Яснотка белая)	–	+



Рисунок 5.1 – Фото растительного покрова на участке № 1 К

Таблица 5.2 – Запасы фитомассы и подстилки на эмбриоземе гумусово-аккумулятивном (участок № 1К), г/м² (сухого вещества)

Компоненты	Период наблюдений		
	2008 г.	2009 г.	2024 г.
Фитомасса	430	486	864,2
Подстилка	106,4	108,8	111,7

Площадка рекультивации – № 2 К

Внешний автотранспортный отвал, селективное отвалообразование, способ – бульдозерный. Сформированные техноземы из покровных суглинков, мощностью около 1 м, за 13-летний период под воздействием

почвообразовательных и микробиологических процессов в естественных условиях трансформировались в эмбриоземы дерновые. На участке почвенный покров состоит из эмбриозема дернового – 100 %. Участки почвенных разрезов заложены на относительно ровной площадке с мелкобугристым слабонаклонным рельефом (не более 5 градусов).

Эмбриозем дерновый

	А ₀ , 0 – 1 см. Подстилка фрагментарная с мхом бурого цвета.
	А _д , 1 – 2 см. Бурый, сухой, комковатой структуры, плотный, тяжелый суглинок, фиксируется много каменистых включений.
	АС, В 2 – 12 см. Бурый, влажный, крупнокомковатой структуры, плотный, тяжелый суглинок, фиксируются включения мелких камней. Переход по плотности волнистый.
	С ₁ , 12 – 40 см. Бурый, комковатой структуры, плотный, тяжелый суглинистый эмбриозем. Постепенный переход по влажности. Включения крупных каменистых отделистостей до 20 см.
	С ₂ 40 – 70 см. Бурый, окрас неоднородный, свежий, комковато-глыбистой структуры, менее плотный, тяжело суглинистый эмбриозем. В горизонте фиксируются рыжие кутаны.

Растительность на исследуемом участке в 2024 г. представлена древесным, кустарниковым и травянистым ярусами, общее проективное покрытие составляет 95 % (рисунок 5.2).

Древесный ярус представлен посадками сосны обыкновенной (*P. sylvestris*), а также закустаренными участками с доминированием ивы козьей (*S. caprea*) и незначительной примесью осины (*P. tremula*); кустарниковый ярус выявлен в 2024 г.; травянисто-кустарни-ковый ярус с проективным покрытием 95 %.

На исследуемом участке после рекультивации нарушенных земель видовой состав растительности представлен 29 видами высших сосудистых растений, в том числе 4 видами деревьев и одним видом кустарников (рисунок 5.2).

Среди древесных видов доминирует сосна обыкновенная (*P. sylvestris*) и с разной степенью участия присутствуют ива козья (*S. caprea*) и осина (*P. tremula*).

Травянистый покров представлен 24 видами с общим проективным покрытием 95 % (таблица 5.3). На участке наблюдается увеличение запасов фитомассы и подстилки (таблица 5.4).



Рисунок 5.2 – Фото растительного покрова на участке № 2 К

Таблица 5.3 – Растительный покров участка № 2 К

№	Виды	Проективное покрытие, %	
		2021 г.	2024 г.
Деревья			
1	<i>Pinus sylvestris</i> L. (Сосна обыкновенная)	30	30
2	<i>Salix caprea</i> L. (Ива козья)	+	10
3	<i>Salix triandra</i> L. (Ива трёхтычинковая)	+	—
4	<i>Populus tremula</i> L. (Осина обыкновенная)	—	+
Кустарники			
5	<i>Caragana frutex</i> (L.) K. Koch (Карагана кустарниковая)	—	+
Травы			
6	<i>Trifolium pratense</i> L. (Клевер луговой)	70	40
7	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth (Вейник наземный)	40	20

Продолжение таблицы 5.3

№	Виды	Проективное покрытие, %	
		2021	2024
8	<i>Dactylis glomerata</i> L. (Ежа сборная)	10	70
9	<i>Tussilago farfara</i> L. (Мать-и-мачеха обыкновенная)	10	<10
10	<i>Prunella vulgaris</i> L. (Черноголовка обыкновенная)	10	-
11	<i>Melilotus albus</i> Medik. (Донник белый)	<10	-
12	<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Besser (Бодяк щетинистый)	<10	10
13	<i>Tanacetum vulgare</i> L. (Пижма обыкновенная)	<10	<10
14	<i>Artemisia vulgaris</i> L. (Полынь чернобыльник)	<10	<10
15	<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop. (Иван-чай узколистый)	<10	10
16	<i>Tripleurospermum inodorum</i> (L.) Sch. Bip. (Трёхреберник непахучий)	<10	–
17	<i>Trifolium hybridum</i> L. (Клевер гибридный)	<10	10
18	<i>Agrostis tenuis</i> Sibth. (Полевица тонкая)	<10	<10
19	<i>Erigeron canadensis</i> L. (Мелколепестник канадский)	<10	
20	<i>Vicia sepium</i> L. (Горошек заборный)	<10	
21	<i>Trifolium repens</i> L. (Клевер ползучий)	<10	
22	<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg. (Одуванчик лекарственный)	–	<10
23	<i>Fragaria viridis</i> Weston (Земляника зелёная)	–	<10
24	<i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh. (Чина весенняя)	–	+
25	<i>Plantago major</i> L. (Подорожник большой)	–	+
26	<i>Vicia cracca</i> L. (Горошек мышиный)	–	+
27	<i>Thalictrum simplex</i> L. (Василисник простой)	–	+
28	<i>Humulus lupulus</i> L. (Хмель обыкновенный)	–	+
29	<i>Aegopodium podagraria</i> L. (Сныть обыкновенная)	–	<10

Таблица 5.4 – Запасы фитомассы и подстилки на дерновом эмбрионе, (участок № 2К) г/м² (сухого вещества)

Компоненты	Период наблюдений	
	2021 г.	2024 г.
Фитомасса	4300	4860
Подстилка	116,4	124,8

Из проведенных ранее исследований следует, что техноземы, сформированные из покровных суглинков, за 35-летний период (исследования 2011 г.) под воздействием процессов почвообразования в естественных условиях трансформировались в гумусово-аккумулятивные и дерновые

эмбриоземы (участок № 1К) (таблица 5.5, рисунок 5.1) [81, 158, 196, 197].

Причем доля гумусово-аккумулятивного эмбриозема больше, чем дернового.

Таблица 5.5 – Почвенно-экологическое состояние участка, (%) [158]

№ площадки	Форма рельефа	Условие почвообразования			
		неудовлетвори- тельные	удовлетво- рительные	хорошие	очень хорошие
Участок 1 К					
1	Горизонтальная поверхность с небольшим уклоном	—	—	100	—

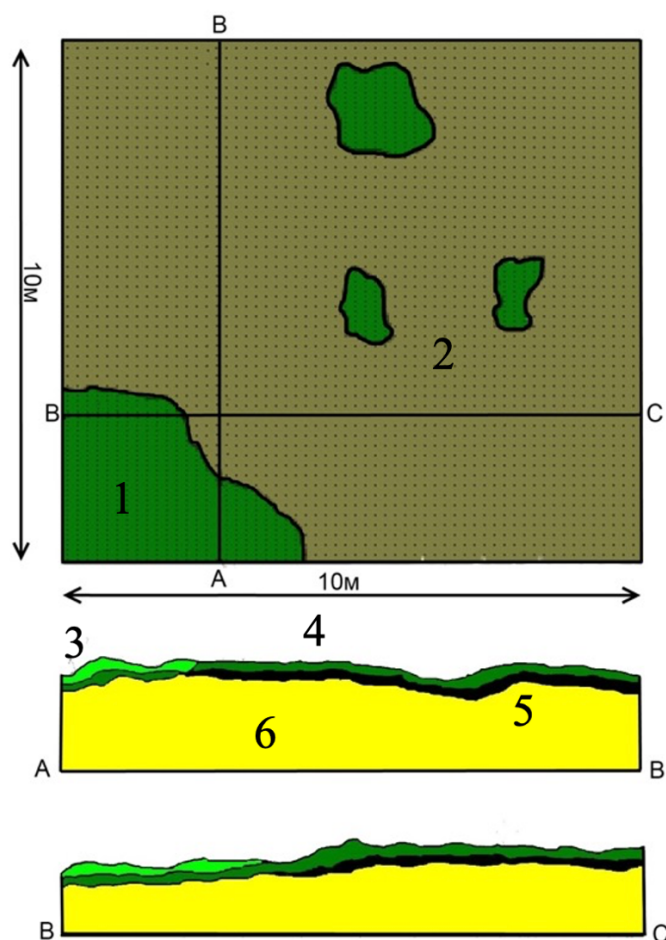


Рисунок 5.3 – Фрагмент почвенной карты отвала участка № 1К.

Эмбриоземы: 1 – дерновые; 2 – гумусово-аккумулятивные.

Горизонты: 3 – A₀, 4 – A_д, 5 – A₁, 6 – C [158]

Результаты исследования почвенного покрова через 13 лет (исследования 2024 г.) показали, что в структуре почвенного покрова

преобладают гумусово-аккумулятивные эмбриоземы, и, благодаря хорошему развитию растительного покрова (проективное покрытие 95 %), в верхнем горизонте эмбриозема гумусово-аккумулятивного происходит накопление органического вещества, и в слое 1 – 5 см его содержание увеличивается с 3,63 до 4,89 %.

Установлено, что накопление азота в почве, как, в общем, и гумуса, зависит от жизнедеятельности микроорганизмов в почвенном слое [170]. В гумусово-аккумулятивном эмбриоземе в верхнем слое отмечается увеличение общего азота до 0,36 %, а по мере снижения органического веществ вниз по профилю почвы наблюдается и снижение общего азота до 0,14 % (таблица 5.6). Аккумуляция азота в верхнем слое обусловлена увеличением органического вещества, оптимальным гранулометрическим составом (доля фракций диаметром <0,01 мм составляет 49,86 %) и хорошей оструктуренностью почвы и плотностью сложения – 1,1 г/см³ (таблица 5.7).

Гумусово-аккумулятивные эмбриоземы по основным агрохимическим свойствам близки к естественным почвам (таблица 5.8). Также под воздействием почвообразовательных процессов отмечается накопление важных элементов питания для жизнедеятельности растений, таких как подвижные формы фосфора и калия. Содержание подвижного фосфора аккумулируется в верхнем слое до 218 мг/кг, и с глубиной по профилю почвы происходит снижение. Содержание обменного калия, как и емкости катионного обмена, максимально содержится в верхнем горизонте, по профилю наблюдается снижение.

Таблица 5.6 – Основные агрохимические свойства эмбриозема гумусово-аккумулятивного (48 лет)

Тип эмбриозема	Глубина, см	С _{орг.} , %		N _{общ.} , %		P ₂ O ₅ , мг/кг		K ₂ O, мг/кг	
		2011	2024	2011	2024	2011	2024	2011	2024
Гумусово-аккумулятивный	0 – 5	3,63	4,89	0,29	0,36	192	218	273	454
	5 – 10	2,55	3,18	0,21	0,26	134	141	248	304
	10 – 20	1,82	1,92	0,19	0,24	111	123	146	168

Таблица 5.7 – Основные физико-химические свойства гумусово-аккумулятивного эмбриозема (48 лет)

Тип эмбриозема	Глубина, см	Доля фракций диаметром (мм), < 1 %	Доля фракций диаметром (мм), < 0,01 %	Объемная плотность, г/см ³	Ёмкость катионного обмена, мг-экв/100 г
Гумусово-аккумулятивный	0 – 5	100	49,86	1,1	20,2
	5 – 10	100	45,29	1,2	13,8
	10 – 20	100	50,10	1,5	16,3

Таблица 5.8 – Основные агрохимические свойства естественных почв

Тип почв	Глубина, см	C _{орг.} , %	N _{общ.} , %	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
Дерново-глубокоподзолистая почва	0 – 3 (A _д)	4,80	0,35	204,2	264,4
	3 – 16 (A ₁ A ₂)	3,86	0,29	127,1	181,8
	16 – 47(A ₂)	1,04	0,11	198,5	134,1
	47 – 59 (A ₂ B)	0,82	0,09	223,3	194,8

Формирование искусственных почв (техноземов) из литогенных ресурсов (покровных суглинков) на участке рекультивации способствовало снижению негативных последствий, связанных с нагревом поверхности участков и повышением температуры почв. Результаты на исследуемом участке показали снижение суммы биологических активных температур почв, тепловой режим приближен к значениям естественных почв [198 – 200]

Кроме того, благоприятные физические свойства (гранулометрический состав и плотность сложения), хорошая аккумуляция органического вещества в верхних горизонтах эмбриозема гумусово-аккумулятивного позволяют эффективно создавать «депо» доступной влаги для растений. Из ранее проведённых исследований динамики запасов почвенной влаги с использованием почвенно-гидрологических констант следует, что запасы влаги в течение всего летнего периода на исследуемых почвах находились в диапазоне наименьшей влагоемкости (НВ) – влажности разрыва капиллярной связи (ВРК) и не опускались ниже предела влажности завядания (ВЗ), растения

в течение всего вегетационного периода не испытывали недостатка влаги [158]. Аналогичные исследования подтверждают благоприятное влияние корнеобитаемого слоя из покровных суглинков на тепловой режим почв и поселение растительности на участках рекультивации [88].

Результаты исследования почвенного покрова через 13 лет на участке рекультивации № 2 К показали, что благодаря хорошему развитию растительного покрова (проективное покрытие 95 %) в верхнем горизонте эмбриоземов дерновых фиксируется накопление органического вещества и в слое 0 – 5 см составляет 3,28 %, также отмечается увеличение содержания общего азота до 0,14 %, по мере снижения органического вещества вниз по профилю почвы наблюдается снижение общего азота до 0,08 % (таблица 5.9). Накопление азота в верхнем слое обусловлена увеличением органического вещества. Активное развитие фитоценозов на поверхности молодых почв, благоприятный гранулометрический состав почв (доля фракций диаметром менее 0,01 мм – 53,73 %), хорошая структурность (плотность сложения – 1,4 г/см³) способствовали накоплению органического вещества и элементов питания для жизнедеятельности растений, таких как подвижные формы фосфора и калия. Содержание подвижного фосфора в верхнем слое достигает до 328 мг/кг, и с глубиной по профилю почвы происходит снижение (таблица 4.9). Содержание обменного калия, как и емкости катионного обмена, также максимально содержится в верхнем горизонте, по профилю наблюдается снижение (таблицы 5.9 – 5.10).

Таблица 5.9 – Основные агрохимические свойства дерновых эмбриоземов (13 лет)

Тип эмбриозема	Глубина, см	C _{орг.} , %	N _{общ.} , %	P ₂ O ₅ , мг/кг почвы	K ₂ O, мг/кг почвы
Дерновый	0 – 5	3,28	0,14	328	409
	5 – 10	2,56	0,11	161	143
	10 – 20	1,47	0,08	135	135

Таблица 5.10 – Основные физико-химические свойства дерновых эмбриоземов (13 лет)

Тип эмбриозема	Глубина	Доля фракций диаметром (мм) < 1 %	Доля фракций диаметром (мм) < 0,01 %	Объемная плотность, г/см ³	Ёмкость катионного обмена, мг-экв/100 г.
Дерновый	0 – 5	100	53,73	1,4	27,6
	5 – 10	100	53,45	1,6	27,7
	10 – 20	100	47,83	1,8	24,3

Показано, что за 48 и 13 лет функционирования рекультивированных участков сформировались экосистемы, приближенные по своим свойствам к естественным почвам и лесным фитоценозам. Оценка почвенно-экологического состояния участков после рекультивации земель характеризуется хорошим и очень хорошим состоянием (ПЭС от 79 до 91 % по отношению к естественным почвам) (таблицы 5.11, 5.12). Тот факт, что на участке 2 К за 13 лет сформировались эмбриоземы дерновые, позволяет предположить, что к 15 – 20 годам наблюдений в структуре почвенного покрова будут образованы участки с эмбриоземом гумусово-аккумулятивным, и почвенно-экологическое состояние будет характеризоваться как очень хорошее.

Таблица 5.11 – Свойства эмбриоземов гумусово-аккумулятивных на участке рекультивации 1 К, определяющие их специфичность по отношению к почвам ненарушенных участков (возраст участка – 48 лет)

Тип эмбриоземов	Глубина, см	Содержание		Плотность, г/см ³	K _{с.ф.г} %	K _{с.с.орг.} %	K _{с.п.} %	K _{с.рел.} %	K _с %
		физ. глины,%	C _{орг.} %						
Гумусово- аккумулятивны й эмбриозем – 100 %	0 – 5	49,86	4,0	1,1	95	90	91	1	91
	5–10	45,29	3,18	1,2					
ПЭС, %	91								

Таблица 5.12 – Свойства эмбриоземов дерновых на участке рекультивации 2 К, определяющие их специфичность по отношению к почвам ненарушенных участков (возраст участка – 13 лет)

Тип эмбриоземов	Глубина, см	Содержание		Плотность, г/см³	K _{с.ф.г.} %	K _{с.с.орг.} %	K _{с.п.} %	K _{с.рел.} %	K _с %
		физ. глины,%	Сорг., %						
Дерновый эмбриозем – 100 %	0 – 5	53,73	3,28	1,4	96	61	77	1	79
	5 – 10	53,45	2,56	1,6					
ПЭС, %	79								

Выводы по главе 5

На основании результатов исследований показано, что сохранение и рациональное использование литогенных ресурсов в процессе ведения горных работ для рекультивации земель, а именно использование селективного отвалообразования и формирование искусственных почв (техноземов) из литогенных ресурсов (покровных суглинков), а также создание благоприятного ландшафта на поверхности отвала (мелкобугристого слабонаклонного рельефа на относительно ровной площадке) привело к устойчивому развитию фитоценозов на участках рекультивации и укоренному почвообразованию. Это диагностируется изменением почвенно-экологического состояния и уровнем сингенетического развития растительного и почвенного покрова техногенных ландшафтов.

Показано, что за 48 и 13 лет функционирования рекультивированных участков сформировались экосистемы, приближенные по своим свойствам к естественным почвам и лесным фитоценозам. Оценка почвенно-экологического состояния участков после рекультивации земель характеризуется хорошим и очень хорошим состоянием (ПЭС от 79 до 91 % по отношению к естественным почвам).

Тот факт, что на участке рекультивации (2 К) за 13 лет сформировались эмбриоземы дерновые, позволяет предположить, что к 15 – 20 годам в структуре почвенного покрова будут образованы участки с эмбриоземом

гумусово-аккумулятивным, почвенно-экологическое состояние будет характеризоваться как очень хорошее.

Таким образом, научно доказано, что скорость восстановления экосистем и почвенно-экологическая эффективность рекультивации земель определяются свойствами литогенных ресурсов и их способностью к преобразованию гипергенными, педогенными и биогенными процессами.

Глава 6 Создание экологического полигона и проведение апробации технологий рекультивации в условиях дефицита литогенных ресурсов (плодородного слоя почвы и потенциально плодородных пород – покровных суглинков) для биологической рекультивации земель (на примере АО «Разрез Распадский»)

В связи с тем, что в исследуемом районе почвы образованы под пологом черневой тайги в условиях сильно всхолмленного, практически горного рельефа, имеют маломощный профиль и характеризуются сложными геоморфологическими особенностями, их селективно не снимают и не используют для создания верхнего, корнеобитаемого слоя на техногенных отвалах. Кроме того, наблюдается дефицит потенциально плодородных пород (покровных суглинков), обладающих благоприятными свойствами для развития растительного покрова.

Комплексные почвенно-экологические исследования вскрышных и вмещающих пород показали, что наилучшими литогенными ресурсами для биологической рекультивации и создания техноземов в горно-таежной подзоне Кузбасса являются ПСП (плодородный слой почвы) и четвертичные отложения I категории. При их дефиците целесообразно использовать четвертичные отложения II категории. Для проведения в полевых условиях апробации был создан экологический полигон с экспериментальными участками по разным технологиям рекультивации земель.

На полигоне заложено 10 экспериментальных участков (участки размером 50×50 м), и на каждом участке созданы мониторинговые площадки в трехкратной повторности (размером 10×10 м). Участки №№ 1 – 8 сложены из четвертичных отложений II категории и участок № 9 сформирован из смеси ПСП и четвертичных отложений I категории. Участок № 10 сформирован из обломков основных вскрышных пород песчаников, аргиллитов и алевролитов различного диаметра. В соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов участки рекультивации представлены: № 1 – 8 – техноземы литогенные (ТЛ); участок № 9 – техноземы гумусогенные

недифференцированные (ТГН); участок № 10 – эмбриоземы инициальные (ЭИ). Мощность корнеобитаемого слоя на участках полигона изменяется от 1 до 1,5 м. Участки с мониторинговыми площадками представлены на плане (рисунки 6.1, 6.2).

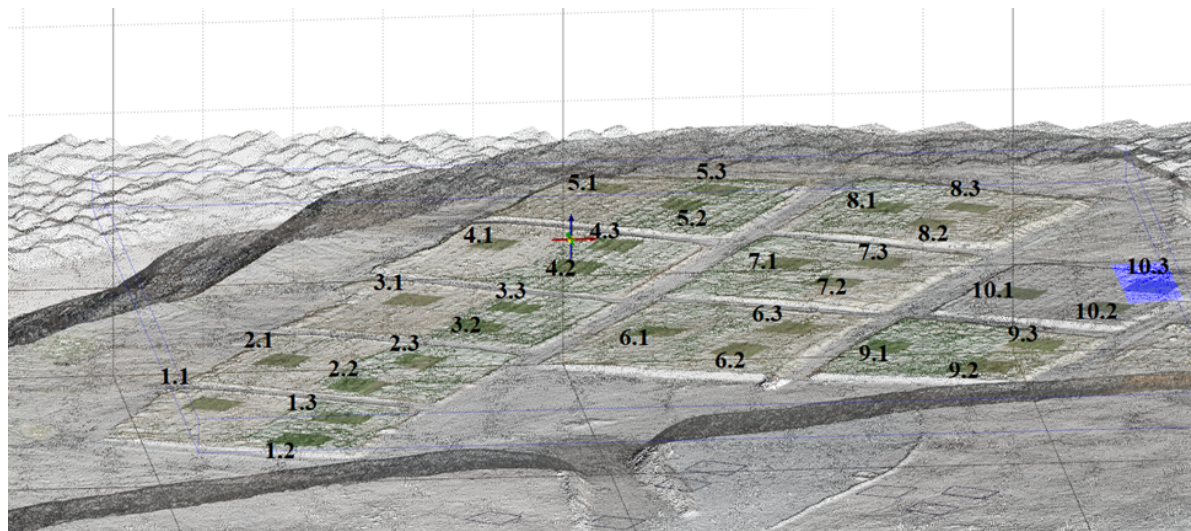


Рисунок 6.1 – План экологического полигона с мониторинговыми площадками



Рисунок 6.2 – Создание экологического полигона, 2023 г.

Для проведения в полевых условиях апробации использования техногенных ресурсов на полигоне заложен экспериментальный участок № 11 микроделяночным способом с техноземом модифицированным (ТМ) из смеси суглинков с включением слабоокатанной гальки, щебня, коренных пород и

выветрелого песчаника и почвоулучшителя (смесь из золошлаковых материалов и окисленного угля). Содержание почвоулучшителя в техноземе модифицированном составляет 10 %.

Площадь каждой микроделянки 2 м². Полигон расположен на внешнем отвале «Южный» с общей площадью 4,5 га. Для выявления наиболее перспективных растений в данных условиях перед проведением эксперимента на основе геоботанического описания были выбраны разные виды растений и схемы посадки. В 2023 г. на полигоне высажено около 6000 растений разного видового состава с закрытой корневой системой, был проведен посев клевера и мятлика. Результаты исследований экспериментальных участков сравнивались с показателями естественных почв.

6.1 Состав молодых почв, сформированных по разным технологиям рекультивации земель, их физические и агрохимические свойства

Мониторинговая площадка № 1.1 (координаты N 53,78730 с.ш., E 088,16114 в.д.)

Площадка с насаждениями лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) и ели обыкновенной (*Picea abies*) (рисунок 6.3). Субстрат сложен из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров на 100 % представлен техноземами литогенными.



Рисунок 6.3 – Мониторинговая площадка № 1.1, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 5 см. Бурый, сырой, уплотненный, слабовыраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 35 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности.

II 5 – 14 см. Бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Граница волнистая. Переход постепенный по количеству крупных каменистых отдельностей.

III 14 – 28 см. Бурый, сырой, переуплотненный, бесструктурный, тяжело суглинистый. Включения крупных каменистых отдельностей до 65 %.

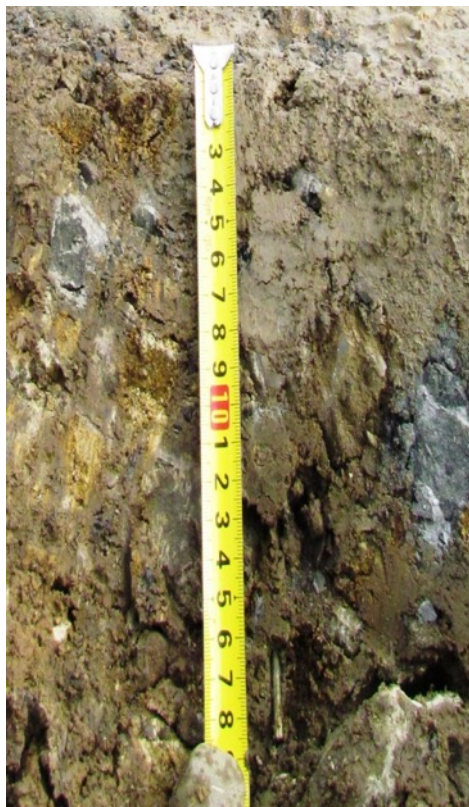
Мониторинговая площадка № 1.2 (координаты N 53,78742 с.ш., E 088,16117 в.д.)

Площадка с насаждениями лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) и ели обыкновенной (*Picea abies*) (рисунок 6.4). Субстрат состоит из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров на 100 % представлен техноземами литогенными.



Рисунок 6.4 – Мониторинговая площадка № 1.2, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 6 см. Бурый, сырой, уплотненный, слабовыраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 35 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности.

II 6 – 12 см. Бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Граница волнистая. Переход постепенный по количеству крупных каменистых отдельностей.

III 12 – 20 см. Бурый, сырой, переуплотненный, бесструктурный, тяжело суглинистый. Включения крупных каменистых отдельностей до 65 %.

Мониторинговая площадка № 1.3 (координаты N 53,78734 с.ш., E 088,16147 в.д.)

Площадка с насаждениями лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) и ели обыкновенной (*Picea abies*) (рисунок 6.5). Субстрат состоит из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров полностью представлен техноземами литогенными.



Рисунок 6.5 – Мониторинговая площадка № 1.3, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 4 см. Бурый, сырой, уплотненный, слабовыраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 35 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности.

II 4 – 10 см. Бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Граница волнистая. Переход постепенный по количеству крупных каменистых отдельностей.

III 10 – 30 см. Бурый, сырой, переуплотненный, бесструктурный, тяжело суглинистый. Включения крупных каменистых отдельностей до 65%.

Мониторинговая площадка № 2.1 (координаты N 53,78763 с.ш., E 088,16174 в.д.)

Площадка с насаждениями сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) (рисунок 6.6). Субстрат состоит из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен полностью техноземами литогенными.



Рисунок 6.6 – Мониторинговая площадка № 2.1, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 5 см. Бурый, сырой, уплотненный, слабовыраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 35 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности.

II 5 – 14 см. Бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Граница волнистая. Переход постепенный по количеству крупных каменистых отдельностей.

III 14 – 20 см. Бурый, сырой, переуплотненный, бесструктурный, тяжело суглинистый. Включения крупных каменистых отдельностей до 65 %.

Мониторинговая площадка 2.2 (координаты N 53,78785 с.ш., E 088,16181 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) (рисунок 6.7). Субстрат представлен из смеси суглинков, глин и супесей с дресвой коренных пород и галькой различного размера. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен на 100 % техноземами литогенными.



Рисунок 6.7 – Мониторинговая площадка № 2.2, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 4 см. Бурый, сырой, уплотненный, слабовыраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 35 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности.

II 4 – 10 см. Бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Граница волнистая. Переход постепенный по количеству крупных каменистых отдельностей.

III 10 – 22 см. Бурый, сырой, переуплотненный, бесструктурный, тяжело суглинистый. Включения крупных каменистых отдельностей до 65 %.

Мониторинговая площадка № 2.3 (координаты N 53,78769 с.ш., E 088,16189 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) (рисунок 6.8). Субстрат состоит из смеси суглинков, глин и супесей с дресвой коренных пород и галькой различного размера. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен на 100 % техноземами литогенными.



Рисунок 6.8 – Мониторинговая площадка № 2.3, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 5 см. Бурый, сырой, уплотненный, слабовыраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 35 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности.

II 5 – 16 см. Бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Граница волнистая. Переход постепенный по количеству крупных каменистых отдельностей.

III 16 – 20 см. Бурый, сырой, переуплотненный, бесструктурный, тяжело суглинистый. Включения крупных каменистых отдельностей до 65 %.

Мониторинговая площадка № 3.1 (координаты N 53,78799 с.ш., E 088,16196 в.д.)

Площадка с насаждениями ели обыкновенной (*Picea abies*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (рисунок 6.9). Субстрат состоит из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен полностью техноземами литогенными.



Рисунок 6.9 – Мониторинговая площадка № 3.1, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 5 см. Бурый, сырой, уплотненный, слабовыраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 35 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности.

II 5 – 14 см. Бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Граница волнистая. Переход постепенный по количеству крупных каменистых отдельностей.

III 14 – 20 см. Бурый, сырой, переуплотненный, бесструктурный, тяжело суглинистый. Включения крупных каменистых отдельностей до 65%.

Мониторинговая площадка № 3.2 (координаты N 53,78812 с.ш., E 088,16198 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями ели обыкновенной (*Picea abies*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (рисунк 6.10). Субстрат состоит из смеси суглинков, глин и супесей с дресвой коренных пород и галькой различного размера. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен техноземами литогенными на 100 %.

Почва технозем литогенный



I 0 – 5 см. Бурый, сырой, уплотненный, слабовыраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 35 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности.

II 5 – 14 см. Бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Граница волнистая. Переход постепенный по количеству крупных каменистых отдельностей.

III 14 – 20 см. Бурый, сырой, переуплотненный, бесструктурный, тяжело суглинистый. Включения крупных каменистых отдельностей до 65 %.



Рисунок 6.10 – Мониторинговая площадка 3.2, 2023 г.

Мониторинговая площадка № 3.3 (координаты N 53,78797 с.ш., E 088,16217 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями ели обыкновенной (*Picea abies*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (рисунок 6.11). Субстрат состоит из смеси суглинков, глин и супесей с дресвой коренных пород и галькой различного размера. Рельеф мелкобугристый с западинами и

промоинами. Почвенный покров представлен полностью техноземами литогенными.

Почва технозем литогенный



I 0 – 5 см. Бурый, сырой, уплотненный, слабовыраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 35 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности.

II 5 – 14 см. Бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Граница волнистая. Переход постепенный по количеству крупных каменистых отдельностей.

III 14 – 20 см Бурый, сырой, переуплотненный, бесструктурный, тяжело суглинистый. Включения крупных каменистых отдельностей до 65 %.



Рисунок 6.11 – Мониторинговая площадка 3.3, 2023 г.

Мониторинговая площадка № 4.1 (координаты N 53,78846 с.ш., E 088,16238 в.д.)

Площадка с насаждениями липы сердцевидной (*Tilia cordata*), пихты сибирской (*Abies sibirica*) и сосны сибирской (*Pinus sibirica*) (рисунок 6.12).

Субстрат состоит из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен на 100 % техноземами литогенными.



Рисунок 6.12 – Мониторинговая площадка № 4.1, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 5 см. Темно-бурый, сырой, уплотненный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 35 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности.

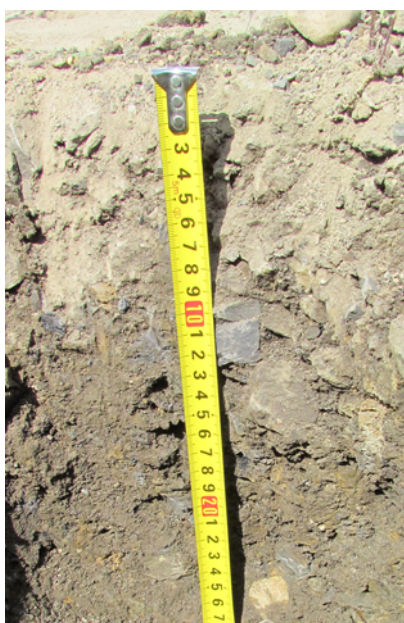
II 5 – 15 см. Темно-бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Граница слабоволнистая. Переход постепенный по количеству крупных каменистых отдельностей.

III 15 – 20 см. Темно-бурый, сырой, переуплотненный, бесструктурный, тяжело суглинистый. Включения крупных каменистых отдельностей до 70 %.

Мониторинговая площадка № 4.2 (координаты N 53,78861 с.ш., E 088,16242 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями липы сердцевидной (*Tilia cordata*), пихты сибирской (*Abies sibirica*) и сосны сибирской (*Pinus sibirica*) (рисунок 6.13). Субстрат состоит из смеси суглинков, глин и супесей с дресвой коренных пород и галькой различного размера. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен полностью техноземами литогенными.

Почва технозем литогенный



I 0 – 5 см. Темно-бурый, сырой, уплотненный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 35 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности.

II 5 – 15 см. Темно-бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Граница слабоволнистая. Переход постепенный по количеству крупных каменистых отдельностей.

III 15 – 20 см. Темно-бурый, сырой, переуплотненный, бесструктурный, тяжело суглинистый. Включения крупных каменистых отдельностей до 70 %.



Рисунок 6.13 – Мониторинговая площадка № 4.2, 2023 г.

Мониторинговая площадка № 4.3 (координаты N 53,78849 с.ш., E 088,16262 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями липы сердцевидной (*Tilia cordata*), пихты сибирской (*Abies sibirica*) и сосны сибирской (*Pinus sibirica*) (рисунок 6.14). Субстрат состоит из смеси суглинков, глин и супесей с дресвой коренных пород и галькой различного размера. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен техноземами литогенными на 100 %.



Рисунок 6.14 – Мониторинговая площадка 4.3, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 5 см. Темно-бурый, сырой, уплотненный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 35 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности.

II 5 – 15 см. Темно-бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Граница слабоволнистая. Переход постепенный по количеству крупных каменистых отдельностей.

III 15 – 20 см. Темно-бурый, сырой, переуплотненный, бесструктурный, тяжело суглинистый. Включения крупных каменистых отдельностей до 70 %.

Мониторинговая площадка № 5.1 (координаты N 53,78879 с.ш., E 088,16282 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями липы сердцевидной (*Tilia cordata*), рябины сибирской (*Sorbus sibirica*), черемухи обыкновенной (*Padus avium*), калины обыкновенной (*Viburnum opulus*), осины обыкновенной (*Populus tremula*) и спиреи средней (*Spiraea media*) (рисунок 6.15). Субстрат состоит из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен на 100 % техноземами литогенными.



Рисунок 6.15 – Мониторинговая площадка № 5.1, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 5 см. Бурый, сырой, уплотненный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 45 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности и крупным каменистым отдельностям.

II 5 – 20 см. Бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и крупных камней до 70 %.

Мониторинговая площадка № 5.2 (координаты N 53,78899 с.ш., E 088,16287 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями липы сердцевидной (*Tilia cordata*), рябины сибирской (*Sorbus sibirica*), черемухи обыкновенной (*Padus avium*), калины обыкновенной (*Viburnum opulus*), осины обыкновенной (*Populus tremula*) и спиреи средней (*Spiraea media*) (рисунок 6.16). Субстрат состоит из смеси суглинков, глин и супесей с дресвой коренных пород и галькой различного размера. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен техноземами литогенными на 100 %.



Рисунок 6.16 – Мониторинговая площадка № 5.2, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 5 см. Темно-бурый, сырой, уплотненный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности и крупным каменистым отдельностям.

II 5 – 25 см. Темно-бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и крупных камней до 70 %.

Мониторинговая площадка № 5.3 (Координаты N 53,78881 с.ш., E 088,16291 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями липы сердцевидной (*Tilia cordata*), рябины сибирской (*Sorbus sibirica*), черемухи обыкновенной (*Padus avium*), калины обыкновенная (*Viburnum opulus*), осины обыкновенной (*Populus tremula*) и спиреи средней (*Spiraea media*) (рисунок 6.17). Субстрат состоит из смеси суглинков, глин и супесей с дресвой коренных пород и галькой различного размера. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен полностью техноземами литогенными.



Рисунок 6.17- Мониторинговая площадка № 5.3, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 5 см. Бурый, сырой, уплотненный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности и крупным каменистым отдельностям.

II 5 – 20 см. Бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и крупных камней до 60 %.

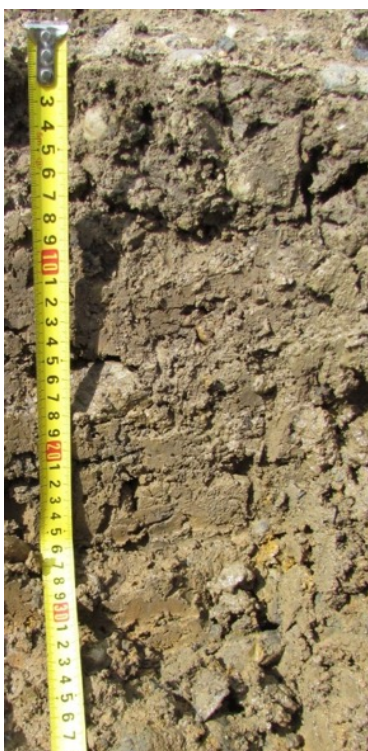
Мониторинговая площадка № 6.1 (координаты N 53,78774 с.ш., E 088,16302 в.д.)

Площадка с насаждениями ели обыкновенной (*Picea abies*), пихты сибирской (*Abies sibirica*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (рисунок 6.17). Субстрат состоит из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров полностью представлен техноземами литогенными.



Рисунок 6.17 – Мониторинговая площадка № 6.1, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 10 см. Бурый, сырой, уплотненный, слабо выраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности и крупным каменистым отдельностям.

II 10 – 25 см. Бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и крупных камней до 70 %.

Мониторинговая площадка № 6.2 (координаты N 53,78793 с.ш., E 088,16314 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями ели обыкновенной (*Picea abies*), пихты сибирской (*Abies sibirica*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (рисунок 6.18). Субстрат состоит из смеси суглинков, глин и супесей с дресвой коренных пород и галькой различного размера. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен на 100 % техноземами литогенными.



Рисунок 6.18 – Мониторинговая площадка № 6.2, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 7 см. Темно-бурый, сырой, уплотненный, слабо выраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности и крупным каменистым отдельностям.

II 7 – 24 см. Темно-бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и крупных камней до 70 %.

Мониторинговая площадка № 6.3 (координаты N 53,78772 с.ш., E 088,16341 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями ели обыкновенной (*Picea abies*), пихты сибирской (*Abies sibirica*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (рисунок 6.19). Субстрат состоит из смеси суглинков, глин и супесей с дресвой коренных пород и галькой различного размера. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен на 100 % техноземами литогенными.



Рисунок 6.19 – Мониторинговая площадка № 6.3, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 9 см. Темно-бурый, сырой, уплотненный, слабо выраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности и крупным каменистым отдельностям.

II 9 – 24 см. Темно-бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и крупных камней до 80 %.

Мониторинговая площадка 7.1 (координаты N 53,78821 с.ш., E 088,16336 в.д.)

Площадка с насаждениями сосны сибирской (*Pinus sibirica*), пихты сибирской (*Abies sibirica*), лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) и березы пушистой (*Betula pubescens*) (рисунок 6.20). Субстрат состоит из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен на 100 % техноземами литогенными.



Рисунок 6.21 – Мониторинговая площадка № 7.1, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 4 см. Бурый с серыми пятнами от камней, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 50 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности и крупным каменистым отдельностям.

II 4 – 24 см. Бурый с серыми пятнами, сырой, переуплотненный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и крупных камней до 80 %.

Мониторинговая площадка № 7.2 (координаты N 53,78851 с.ш., E 088,16339 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями сосны сибирской (*Pinus sibirica*), пихты сибирской (*Abies sibirica*), лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) и березы пушистой (*Betula pubescens*) (рисунок 6.22). Субстрат состоит из смеси суглинков, глин и супесей с дресвой коренных пород и галькой различного размера. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен на 100 % техноземами литогенными.



Рисунок 6.22 – Мониторинговая площадка № 7.2, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 8 см. Темно-бурый с бурыми пятнами, сырой, уплотненный, слабо выраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 50 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности и крупным каменистым отдельностям.

II 8 – 25 см. Темно-бурый с бурыми пятнами, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и крупных камней до 70 %.

Мониторинговая площадка № 7.3 (координаты N 53,78825 с.ш., E 088,16361 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями сосны сибирской (*Pinus sibirica*), пихты сибирской (*Abies sibirica*), лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) и березы пушистой (*Betula pubescens*) (рисунок 6.23). Субстрат состоит из смеси суглинков, глин и супесей с дресвой коренных пород и галькой различного размера. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен на 100 % техноземами литогенными.



Рисунок 6.23 – Мониторинговая площадка № 7.3, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 8 см. Бурый, сырой, уплотненный, слабо выраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности и крупным каменистым отдельностям.

II 8 – 22 см. Бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и крупных камней до 80 %.

Мониторинговая площадка № 8.1 (координаты N 53,78865 с.ш., E 088,16373 в.д.)

Площадка с насаждениями сосны сибирской (*Pinus sibirica*), рябины сибирской (*Sorbus sibirica*), ели обыкновенной (*Picea abies*), караганы древовидной (*Caragana arborescens*), черемухи обыкновенной (*Padus avium*), калины обыкновенной (*Viburnum opulus*), осины обыкновенной (*Populus tremula*) и спиреи средней (*Spiraea media*) (рисунок 6.24). Субстрат состоит из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен на 100 % техноземами литогенными.



Рисунок 6.24– Мониторинговая площадка 8.1, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 5 см. Бурый, сырой, уплотненный, слабо выраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности и крупным каменистым отдельностям.

II 5 – 25 см. Бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и крупных камней до 50 %.

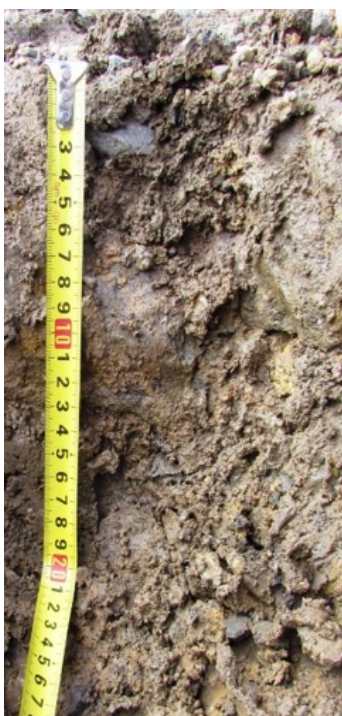
Мониторинговая площадка № 8.2 (координаты N 53,78881 с.ш., E 088,16378 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями сосны сибирской (*Pinus sibirica*), рябины сибирской (*Sorbus sibirica*), ели обыкновенной (*Picea abies*), караганы древовидной (*Caragana arborescens*), черемухи обыкновенной (*Padus avium*), калины обыкновенной (*Viburnum opulus*), осины обыкновенной (*Populus tremula*) и спиреи средней (*Spiraea media*) (рисунок 6.25). Субстрат состоит из смеси суглинков, глин и супесей с дресвой коренных пород и галькой различного размера. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен на 100 % техноземами литогенными.



Рисунок 6.25 –Мониторинговая площадка № 8.2, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 5 см. Серо-бурый, сырой, уплотненный, слабо выраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности и крупным каменистым отдельностям.

II 5 – 24 см. Серо-бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и крупных камней до 70 %.

Мониторинговая площадка № 8.3 (координаты N 53,78861 с.ш., E 088,16398 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями сосны сибирской (*Pinus sibirica*), рябины сибирской (*Sorbus sibirica*), ели обыкновенной (*Picea abies*), караганы древовидной (*Caragana arborescens*), черемухи обыкновенной (*Padus avium*), калины обыкновенной (*Viburnum opulus*), осины обыкновенной (*Populus tremula*) и спиреи средней (*Spiraea media*) (рисунок 6.26). Субстрат состоит из смеси суглинков, глин и супесей с дресвой коренных пород и галькой различного размера. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен на 100 % техноземами литогенными.



Рисунок 6.26 – Мониторинговая площадка № 8.3, 2023 г.

Почва технозем литогенный



I 0 – 7 см. Бурый, сырой, уплотненный, слабо выраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 40 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности и крупным каменистым отдельностям.

II 7 – 30 см. Бурый, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и крупных камней до 60 %.

Мониторинговая площадка № 9.1 (координаты N 53,78841 с.ш., E 088,16428 в.д.)

Площадка с насаждениями березы пушистой (*Betula pubescens*), сосны сибирской (*Pinus sibirica*), рябины сибирской (*Sorbus sibirica*) и караганы древовидной (*Caragana arborescens*) (рисунок 6.27). Субстрат состоит из смеси плодородного слоя почвы и четвертичных отложений I категории (покровных суглинков). Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров на 100 % представлен техноземами гумусогенными недифференцированными.



Рисунок 6.27 – Мониторинговая площадка № 9.1, 2023 г.

Почва технозем недифференцированный гумусогенный



I 0 – 10 см. Темно-бурый с бурыми и темно-серыми пятнами ПСП, сырой, уплотненный, слабо выраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 20 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности и крупным каменистым отдельностям.

II 10 – 28 см. Темно-бурый с бурыми и темно-серыми пятнами ПСП, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и крупных камней до 50 %.

Мониторинговая площадка № 9.2 (координаты N 53,78859 с.ш., E 088,16431 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями березы пушистой (*Betula pubescens*), сосны сибирской (*Pinus sibirica*), рябины сибирской (*Sorbus sibirica*) и караганы древовидной (*Caragana arborescens*) (рисунок 6.28). Субстрат состоит из смеси суглинков с верхних горизонтов естественных почв (потенциально плодородных пород) с включениями каменистых отдельностей и плодородного слоя почвы. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров на 100 % представлен техноземами гумусогенными недифференцированными.



Рисунок 6.28 – Мониторинговая площадка № 9.2, 2023 г.

Почва технозем недифференцированный гумусогенный



I 0 – 10 см. Бурый с темно-серыми пятнами ПСП, сырой, уплотненный, слабо выраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 10 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности и крупным каменистым отдельностям.

II 10 – 30 см. Бурый с темно-серыми пятнами ПСП, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и крупных камней до 50 %. В нижней части профиля выступает вода.

Мониторинговая площадка № 9.3 (координаты N 53,78843 с.ш., E 088,16451 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями березы пушистой (*Betula pubescens*), сосны сибирской (*Pinus sibirica*), рябины сибирской (*Sorbus sibirica*) и караганы древовидной (*Caragana arborescens*) (рисунок 6.29). Субстрат состоит из смеси суглинков с верхних горизонтов естественных почв (потенциально плодородных пород) с включениями каменистых отдельностей и плодородного слоя почвы. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен на 100 % техноземами гумусогенными недифференцированными.



Рисунок 6.29 – Мониторинговая площадка 9.3, 2023 г.

Почва технозем недифференцированный гумусогенный



I 0 – 16 см. Бурый с темно-серыми пятнами ПСП, сырой, уплотненный, слабо выраженной крупно комковатой структуры, тяжелый суглинок. Включения средних и мелких камней до 10 %. Большое количество галечника на поверхности. Граница слабо выражена. Переход постепенный по плотности и крупным каменистым отдельностям.

II 16 – 30 см. Бурый с темно-серыми пятнами ПСП, сырой, плотный, бесструктурный, тяжелый суглинок. Включения средних и крупных камней до 60 %, количество которых увеличивается вниз по профилю.

Мониторинговая площадка № 10.1 (координаты N 53,78787 с.ш., E 088,16486 в.д.)

Площадка с насаждениями сосны сибирской (*Pinus sibirica*), ели обыкновенной (*Picea abies*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (рисунок 6.30). Субстрат участка представлен техногенно-перемещенными грунтами, состоящими из обломков аргиллитов, песчаников и алевролитов. Рельеф мелкобугристый, расчлененный западинами и промоинами. Почвенный покров на 100 % представлен инициальными эмбриоземами.



Рисунок 6.30 – Мониторинговая площадка 10.1, 2023 г.

Почва эмбриозем инициальный



C₁ 0 – 4 см. Темно-серый, сырой, уплотненный, бесструктурный, супесь. Включения камней до 90 %. Граница слабо выражена. Переход постепенный по крупным каменистым отдельностям.

C₂ 4 – 25 см. Темно-серый, сырой, плотный, бесструктурный, супесь. Включения средних и крупных камней до 100 %.

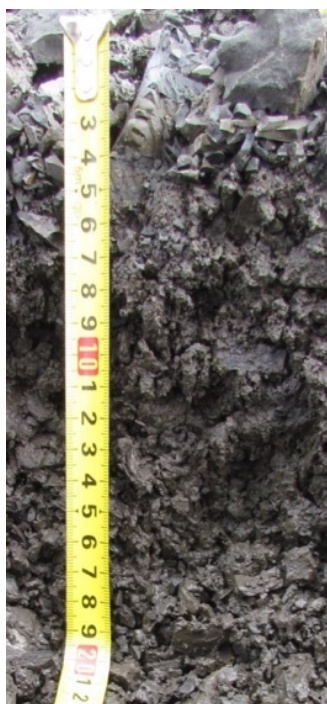
Мониторинговая площадка № 10.2 (координаты N 53,78805 с.ш., E 088,16489 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями сосны сибирской (*Pinus sibirica*), ели обыкновенной (*Picea abies*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (рисунок 6.31) Субстрат участка представлен техногенно-перемещенными грунтами, состоящими из обломков аргиллитов, песчаников и алевролитов. Рельеф мелкобугристый, расчлененный западинами и промоинами. Почвенный покров на 100 % представлен инициальными эмбриоземами.



Рисунок 6.31 – Мониторинговая площадка № 10.2, 2023 г.

Почва эмбриозем инициальный



С₁ 0 – 4 см. Темно-серый, сырой, уплотненный, бесструктурный, супесь. Включения камней до 90 %. Граница слабо выражена. Переход постепенный по крупным каменистым отдельностям.

С₂ 4 – 30 см. Темно-серый, сырой, плотный, бесструктурный, супесь. Включения средних и крупных камней до 100 %.

Мониторинговая площадка 10.3 (координаты N 53,78785 с.ш., E 088,16506 в.д.)

Участок лесной рекультивации с насаждениями сосны сибирской (*Pinus sibirica*), ели обыкновенной (*Picea abies*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (рисунок 6.32). Субстрат участка представлен техногенным элювием из аргиллитов и алевролитов. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров представлен на 100 % эмбриоземами инициальными.



Рисунок 6.32 – Мониторинговая площадка 10.3, 2023 г.

Почва эмбриозем инициальный



С₁ 0 – 4 см. Темно-серый, сырой, уплотненный, бесструктурный, супесь. Включения камней до 90 %. Граница слабо выражена. Переход постепенный по крупным каменистым отдельностям.

С₂ 4 – 30 см. Темно-серый, сырой, плотный, бесструктурный, супесь. Включения средних и крупных камней до 100 %.

Физические свойства

Исследование физических свойств почв имеет важное научное значение для определения направленности процессов почвообразования.

К основным физическим характеристикам почвы относятся гранулометрический и фракционный составы, плотность сложения, порозность почвы и другие характеристики. Многие физические свойства почвы напрямую зависят от содержания элементарных почвенных частиц разного диаметра и их распределения по профилю, а именно от плотности сложения, порозности, водопроницаемости и фильтрационной способности. Особо следует отметить важность гранулометрического состава как значимой характеристики почвенного покрова, влияющей на свойства, режимы и плодородие почв.

В исследуемых техноземах и эмбриоземах в почвенном профиле присутствуют каменистые отдельности. В связи с тем, что почвы имеют высокую каменистость и незначительное содержание мелкозема, для определения содержания фракций физической глины ($>0,01$ мм) был осуществлен пересчет на всю массу почвенного образца.

Так, результаты исследований в 2023 г. на участке № 1 в профиле техноземов литогенных в среднем преобладают крупные фракции, диаметром более 10 мм (галечник), количество которого заметно увеличивается с глубиной по профилю с 26 до 39 %. Содержание мелкозема варьирует с глубиной по профилю почвы от 24 до 30 %, в среднем содержание составляет всего 27 %. В соответствии с классификацией пород и почв по гранулометрическому составу техноземы литогенные характеризуются как средний суглинок, содержание физической глины в среднем составляет 34,28 – 33,29 % [201, 202]. При пересчете на всю массу почвы содержание физической глины варьирует от 9,13 до 4,83 % и уже характеризуется как песок связный. Из результатов исследований плотности сложения следует, что плотность изменяется от 1,7 до 1,98 г/см³ и характеризуется как очень плотная почва. Порозность оценивается как чрезмерно низкая.

На участке № 2 в техноземе литогенном наблюдается увеличение крупных фракций и с глубиной по профилю, в среднем содержание варьирует в диапазоне от 34 до 45 %. Содержание мелкозема в среднем составляет от 25 % в верхнем слое техноземов и до 16 % в нижней части профиля. По гранулометрическому составу техноземы характеризуются как средний суглинок, содержание физической глины изменяется по профилю от 34,28 до 33,24 %. Результаты пересчета содержания физической глины на массу технозема в среднем составляют около 10 %, что характеризует его как песок связный. На участке наблюдается высокая плотность сложения, с глубиной по профилю технозема увеличивается от 1,75 до 2,02 г/см³. Соответственно, порозность почв чрезмерно низкая.

На участке № 3, как и на предыдущих участках, в профиле техноземов отмечается увеличение крупных каменистых отдельностей, с глубиной их содержание варьирует от 26 до 35 %. Содержание мелкозема составляет в среднем в верхнем слое от 28 и до 19 % в нижней части профиля почвы. По гранулометрическому составу техноземы характеризуются как суглинок средний, содержание фракции физической глины изменяется от 36,31 до 32,36 %. При пересчете содержания фракции физической глины на всю массу почвы техноземы характеризуются как песок связный. По плотности сложения техноземы очень плотные, и показатели изменяются с глубиной по профилю от 1,60 до 2,02 г/см³. Техноземы литогенные, сформированные на участке № 4, характеризуются увеличением крупных каменистых отдельностей вниз по профилю, и на глубине 20 см их количество достигает максимальной величины – 43 %. Содержание мелкозема по профилю почвы изменяется от 29 % в верхнем слое техноземов и 14 % в нижней части профиля. По гранулометрическому составу техноземы характеризуются как суглинок средний, при пересчете содержания физической глины на всю массу почвы техноземы характеризуются как песок связный (таблица 6.1).

В техноземах литогенных на участке № 5 также наблюдается увеличение крупных каменистых отдельностей, и с глубиной по профилю почвы их значение варьирует от 25 до 26 %.

Таблица 6.1 – Плотность сложения и порозность молодых почв, 2023 г.

№ точки, почва	Глубина, см	Плотность, г/см ³		Порозность, %
		сложения	твердой фазы	
1	2	3	4	5
1 ТЛ	0 – 5	1,59 – 1,77	2,54 – 2,82	31 – 44
		1,7	2,68	37
	5 – 10	2,01 – 2,36	2,56 – 2,87	18 – 21
		2,15	2,66	19
	10 – 20	1,93 – 2,03	2,54 – 2,9	22 – 30
		1,98	2,67	26
2 ТЛ	0 – 5	1,69 – 1,83	2,51 – 2,83	31 – 39
		1,75	2,66	34
	5 – 10	1,73 – 2,21	2,54 – 2,71	16 – 32
		2,01	2,63	24
	10 – 20	1,86 – 2,14	2,65 – 2,75	21 – 30
		2,02	2,7	25
3 ТЛ	0 – 5	1,43 – 1,72	2,64 – 2,9	41 – 46
		1,6	2,77	42
	5 – 10	1,14 – 2,34	2,51 – 2,64	11 – 55
		1,58	2,56	38
	10 – 20	1,86 – 2,22	2,57 – 2,62	15 – 28
		2,02	2,59	22
4 ТЛ	0 – 5	1,64 – 1,76	2,59 – 2,65	34 – 37
		1,69	2,63	36
	5 – 10	1,18 – 1,92	2,6 – 2,72	26 – 57
		1,66	2,65	37
	10 – 20	1,67 – 2,04	2,53 – 2,75	19 – 38
		1,86	2,66	30
5 ТЛ	0 – 5	1,46 – 1,6	2,5 – 2,59	38 – 44
		1,51	2,55	41
	5 – 10	1,55 – 1,83	2,39 – 2,64	28 – 37
		1,68	2,52	33
	10 – 20	1,02 – 2,37	2,47 – 2,54	4 – 60
		1,68	2,51	33
6 ТЛ	0 – 5	1,53 – 1,67	2,55 – 2,7	36 – 41
		1,6	2,62	39
	5 – 10	1,76 – 1,88	2,57 – 2,65	29 – 33
		1,81	2,61	31
	10 – 20	1,8 – 1,89	2,59 – 2,72	30 – 31
		1,84	2,64	30

Продолжение таблицы 6.1

№ точки, почва	Глубина, см	Плотность, г/см ³		Порозность, %
		сложения	твёрдой фазы	
1	2	3	4	5
7 ТЛ	0 – 5	$\frac{1,59 - 2,19}{1,83}$	$\frac{2,57 - 3,12}{2,76}$	$\frac{15 - 49}{34}$
	5 – 10	$\frac{1,51 - 1,96}{1,72}$	$\frac{2,48 - 2,71}{2,6}$	$\frac{25 - 44}{34}$
	10 – 20	$\frac{1,72 - 1,83}{1,77}$	$\frac{2,6 - 2,76}{2,66}$	$\frac{30 - 37}{34}$
8 ТЛ	0 – 5	$\frac{1,37 - 1,5}{1,45}$	$\frac{2,56 - 2,57}{2,57}$	$\frac{41 - 47}{44}$
	5 – 10	$\frac{1,65 - 1,82}{1,71}$	$\frac{2,59 - 2,67}{2,61}$	$\frac{30 - 37}{34}$
	10 – 20	$\frac{1,66 - 1,80}{1,71}$	$\frac{2,5 - 2,56}{2,52}$	$\frac{28 - 34}{32}$
9 ТГН	0 – 5	$\frac{1,58 - 1,72}{1,65}$	$\frac{2,59 - 2,84}{2,72}$	$\frac{36 - 42}{39}$
	5 – 10	$\frac{1,6 - 2}{1,78}$	$\frac{2,54 - 2,62}{2,58}$	$\frac{21 - 38}{31}$
	10 – 20	$\frac{1,68 - 1,83}{1,78}$	$\frac{2,51 - 2,69}{2,62}$	$\frac{27 - 37}{32}$
10 ЭИ	0 – 5	$\frac{1,73 - 1,84}{1,8}$	$\frac{2,5 - 2,72}{2,59}$	$\frac{28 - 32}{30}$
	5 – 10	$\frac{1,79 - 1,81}{1,8}$	$\frac{2,58 - 2,71}{2,63}$	$\frac{30 - 33}{31}$
	10 – 20	$\frac{1,74 - 2,39}{2,09}$	$\frac{2,28 - 2,87}{2,62}$	$\frac{11 - 25}{20}$

Следует отметить, что содержание мелкозема, в сравнении с другими участками, увеличивается и изменяется вниз по профилю почвы от 15 до 55 %, а в среднем от 30,24 до 31,00 %. По гранулометрическому составу техноземы характеризуются как суглинок средний, а при пересчете содержание физической глины на всю массу техноземов почвы характеризуются как песок связный. Из результатов исследований плотности сложения техноземов следует постепенное увеличение показателей с глубиной по профилю. Максимальные значения фиксируются на глубине 10 – 20 см и составляют 1,86 г/см³, минимальные на глубине 5 – 10 см и составляют 1,66 г/см³. Техноземы по плотности сложения характеризуются как очень плотные, соответственно имеют чрезмерно низкую плотность (таблица 6.1).

На участке № 6 по профилю техноземов в среднем доминирует крупная фракция (гравий 1 – 3 мм), ее значения изменяются в диапазоне от 24 до 27 %, также наблюдается увеличение крупной фракции каменистой части техноземов с увеличением вниз по профилю. При этом содержание мелкозема в среднем составляет от 38 до 33 % и по гранулометрическому составу характеризуются как суглинок средний, при пересчете содержание физической глины на всю массу техноземов почвы характеризуются как песок связный.

По плотности сложения техноземы характеризуются как очень плотные, с постепенным уплотнением по профилю почвы от 1,60 до 1,84 г/см³, показатели порозности техноземов оценивается как чрезмерно низкая (таблица 6.1).

На техноземах литогенных, сформированных на участках № 7 и 8, также наблюдается увеличение каменистой части почвы (фракция >10 мм). Содержание мелкозема в среднем составляет на участке № 7 в верхнем слое профиля 21 % и 20 – 19 % в нижней части; на участке № 8 показатели изменяются с глубиной по профилю от 34 до 26 %. По гранулометрическому составу техноземы на участках классифицируются как средний суглинок. Однако при пересчете содержания фракций физической глины на общую массу, гранулометрический состав техноземов характеризуется как связный песок.

На участке № 9, где сформированы техноземы гумусогенные недифференцированные наблюдается другая ситуация. Содержание крупной каменистой части почвы в среднем с глубиной по профилю не более 13 %, причем происходит увеличение крупной фракции (3 – 1 мм) и особенно мелкоземистой фракции (менее 1 мм). Содержание мелкозема по профилю почвы существенно увеличивается и составляет в верхнем слое 41 % и 32 – 44 % в нижней части профиля. По гранулометрическому составу профиль техноземов гумусогенных характеризуется как суглинок средний, также наблюдается увеличение фракции физической глины от 34,94 до 44,98 %. При

пересчете содержания физической глины на всю массу технозема почвы характеризуются уже как супесь.

Такие показатели изменения твердой фазы почвы в сравнении с другими техноземами обусловлены прежде всего тем, что для создания техноземов использовалась смесь из плодородного слоя почвы и четвертичных отложений I категории (покровных суглинков). По плотности сложения данные техноземы также характеризуются как очень плотные и имеют низкую порозность (таблица 6.1).

Особо следует отметить участок № 10. На данном участке сформированы эмбриоземы инициальные. Каменистость (фракции более 10 мм) инициальных эмбриоземов превышает 70 %. Содержание мелкозема очень низкое и с глубиной изменяется от 5 до 3 %. По гранулометрическому составу мелкозем почвы характеризуется как супесь, при пересчете фракции физической глины на всю массу почвы эмбриоземы характеризуются как рыхлый песок, при чем содержание фракции физической глины незначительное, в верхнем слое составляет всего 0,85 % и 0,98 – 0,66 % в нижней части профиля. Кроме того, наблюдается увеличение плотности сложения и эмбриоземы инициальные характеризуются как очень плотные, значения варьируют в диапазоне от 1,80 до 2,09 г/см³.

Таким образом, из результатов исследований физических свойств техноземов и эмбриоземов следует, что в первый год (2023 г.) после формирования техноземов и эмбриоземов в профиле всех почв присутствуют каменистые отдельности [203]. Так, доля фракции >10 мм варьирует в широком диапазоне и в среднем составляет от 13 до 77 %. Поэтому для определения содержания фракции физической глины в почвах был осуществлен перерасчет на всю массу породы. В почвенном профиле всех техноземов в среднем преобладают крупные фракции диаметром более 10 мм (галечник), количество которых заметно возрастает с глубиной.

Содержание мелкозема изменяется от 3 до 44 %. Минимальное содержание мелкозема в почвенном профиле зафиксировано в эмбриоземе

инициальном (участок № 10), а максимальное значение – от 32 до 41 % в техноземе гумусогенном недифференцированном. В соответствии с классификацией пород и почв [201] все техноземы характеризуются как средний суглинок, однако при пересчете на всю массу почв по содержанию фракции физической глины все техноземы характеризуются как песок связный.

Из результатов исследования плотности сложения техноземов и эмбриоземов следует, что показатели варьируют по профилю почв в широких пределах от 1,51 до 2,63 г/см³. Данные техноземы и эмбриоземы характеризуются как очень плотные почвы (таблица 6.1). Соответственно с увеличением плотности сложения почв порозность закономерно снижается. Максимальные показатели плотности зафиксированы в профиле инициального эмбриозема, значения с глубиной изменяется в широком диапазоне от 1,80 до 2,09 г/см³ (таблица 6.1).

Такие высокие показатели вызваны переуплотнением почв тяжелой техникой при формировании почв на техническом этапе рекультивации. Следует отметить, что техноземы и эмбриоземы являются молодыми почвами и обладают значительной пространственной литогенной неоднородностью, что подтверждается результатами исследований химических свойств почв.

Фракционный состав крупнозема и гранулометрический состав почв на мониторинговых площадках в 2023 г. приведены в приложении Б.

Через два года функционирования техноземов были выявлены изменения компонентов твердой фазы почвы. Практически во всех техноземах на участках произошло разуплотнение как в верхнем, так и в нижнем слое по всему профилю почв (таблица 6.2).

Особенно заметны изменения в техноземе гумусогенном недифференцированном, показатели плотности сложения варьируют по профилю от 1,23 до 1,21 г/см³ (рисунок 6.33), а показатели порозности закономерно увеличиваются (рисунок 6.34).

На некоторых участках полигона (участки № 5, 6 и 8) наблюдается уплотнение в верхних слоях, увеличение содержания каменных фракций и снижение мелкозема (таблица 6.2).

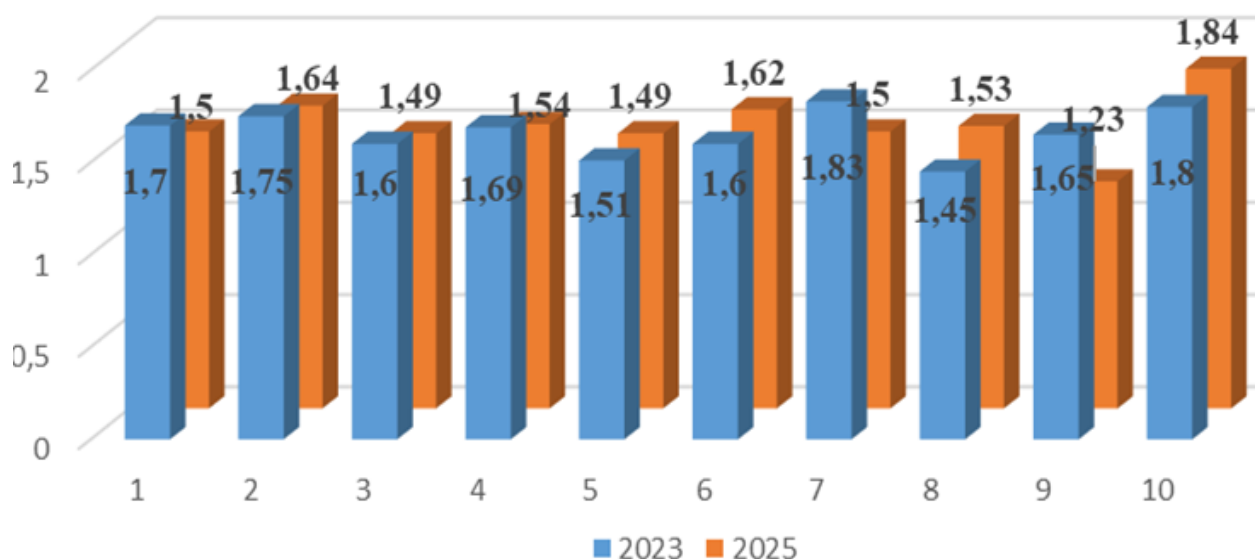


Рисунок 6.33 – Плотность сложения почв на экспериментальных участках, 2023 и 2025 гг. (участки № 1 – 8 – ТЛ; № 9 – ТГН; № 10 – ЭИ)

Таблица 6.2 – Динамика плотности сложения и порозности молодых почв

№ точки, почва	Глубина, см	Плотность сложения, г/см ³			Порозность, %	
		сложения		твёрдой фазы		
		2024 г.	2025 г.		2024 г.	2025 г.
1ТЛ	0 – 5	1,74	1,50	2,38	31	37
	5 – 10	2,07	1,65	2,42	19	32
	10 – 20	1,93	1,18	2,33	25	49
2 ТЛ	0 – 5	1,69	1,64	2,46	33	33
	5 – 10	1,73	1,19	2,38	32	50
	10 – 20	1,86	0,97	2,52	30	62
3 ТЛ	0 – 5	1,72	1,49	2,45	41	39
	5 – 10	2,34	1,29	2,29	11	44
	10 – 20	1,86	1,02	2,24	28	54
4 ТЛ	0 – 5	1,64	1,54	2,45	37	37
	5 – 10	1,88	1,54	2,37	29	35
	10 – 20	1,87	1,49	2,46	32	39
5 ТЛ	0 – 5	1,46	1,49	2,46	44	39
	5 – 10	1,83	1,45	2,33	28	38
	10 – 20	2,37	1,63	2,43	11	33

Продолжение таблицы 6.2

№ точки, почва	Глубина, см	Плотность сложения, г/см ³			Порозность, %	
		сложения		твёрдой фазы		
		2024 г.	2025 г.		2024 г.	2025 г.
6 ТЛ	0 – 5	1,59	1,62	2,43	41	33
	5 – 10	1,76	1,45	2,46	33	41
	10 – 20	1,82	1,73	2,41	30	28
7 ТЛ	0 – 5	2,19	1,50	2,54	15	41
	5 – 10	1,51	1,60	2,40	44	33
	10 – 20	1,72	1,53	2,35	34	35
8 ТЛ	0 – 5	1,48	1,53	2,36	42	35
	5 – 10	1,66	1,03	2,43	37	58
	10 – 20	1,68	1,18	2,51	34	53
9 ТГН	0 – 5	1,66	1,23	2,42	36	49
	5 – 10	1,73	0,90	2,54	34	65
	10 – 20	1,68	1,21	2,37	37	49
10 ЭИ	0 – 5	1,84	1,84	2,47	28	28
	5 – 10	1,81	1,81	2,57	33	33
	10 – 20	1,74	1,74	2,37	24	24

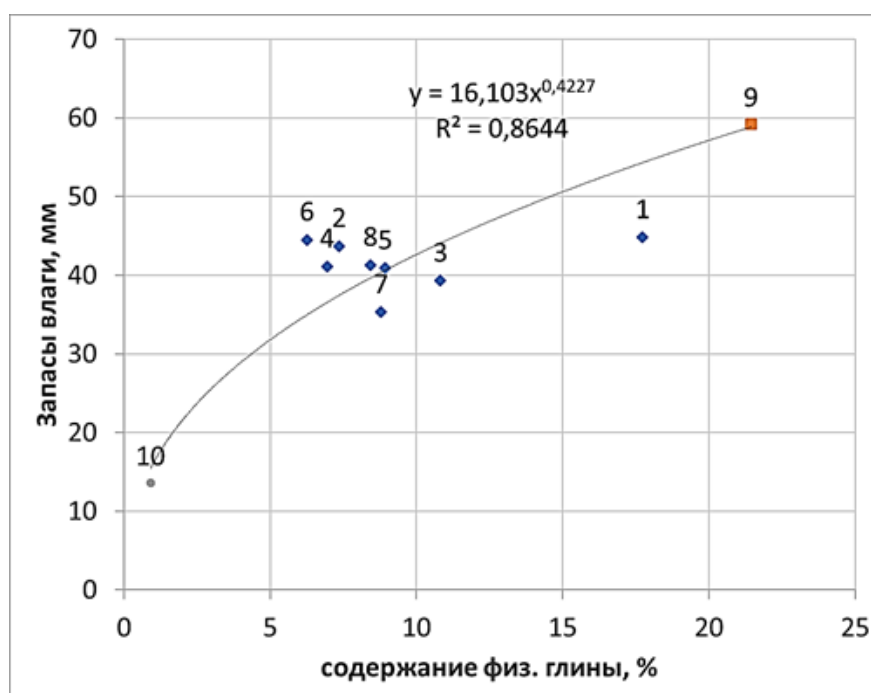


Рисунок 6.34 – Зависимость порозности почв от плотности сложения (участки № 1 – 8 – ТЛ; № 9 – ТГН; № 10 – ЭИ)

Выявлено, что практически во всех техноземах по профилю за два года функционирования почв наблюдается увеличение содержания мелкозема в почвенном профиле. В поверхностном слое (0 – 5 см) отмечается увеличение мелкозема в 1,13 – 2,60 раз (таблица 6.3). Из результатов исследований гранулометрического состава было обнаружено изменение дисперсности частиц в слоях техноземов, в основном наблюдается уменьшение тонких фракций (илистой фракции и физической глины) и увеличение фракции физического песка. Кроме того, отмечается изменение гранулометрического состава техноземов литогенного (участок № 1) и гумусогенного недифференцированного (участок № 9). При пересчете на всю массу почвы содержание фракции физической глины по профилю возрастает в сравнении с первым годом функционирования техноземов (в слое 0 – 5 см составляет от 22,98 до 24,83 %). В соответствии с гранулометрическим составом поверхностные слои рассматриваемых техноземов характеризуются уже как суглинки легких. В ЭИ (участок № 10), сложенным из смеси вскрышных и вмещающих пород, в профиле содержатся крупные каменистые отдельности (выше 90 %), а содержание мелкозема составляет менее 10 % от общей массы почвенного образца, существенной динамики по изменению физических свойств не наблюдается.

В инициальном эмбриоземе (участок № 10), сложенным из смеси вскрышных и вмещающих пород, содержатся в профиле крупные каменистые отдельности (выше 90 %), а содержание мелкозема составляет менее 10 % от общей массы эмбриозема. При этом каменистые отдельности в результате процессов выветривания разрушаются до фракций физического песка 1,00 – 0,01 мм (таблица 6.3). Результаты исследований показывают, что содержание фракций физической глины длительное время находится на низком уровне, что замедляет развитие растительных сообществ и процесса почвообразования.

Данные изменения физических свойств молодых почв обусловлены прежде всего увеличением содержания мелкозема в техноземах и изменениями содержания тонких фракций (илистой фракции и физической глины) по

профилю почв. Особенно данные изменения заметны в техноземе литогенном (участок № 1) и гумусогенном недифференцированном (участок № 9) (таблица 6.3).

Таким образом, уже в первые годы функционирования наблюдаются активные изменения физических свойств почв, особенно в верхних слоях, что связано, прежде всего, с влиянием физического выветривания и активным развитием растительного покрова, эти явления подтверждаются многими исследованиями [94, 204].

Химические свойства почв

Отличительной особенностью почвообразовательного процесса, протекающего в техноземах и эмбриоземах, является высокая пространственная литогенная неоднородность по содержанию органического вещества и элементов питания для растений в доступной форме. Эти факты обуславливают асинхронность протекания биологических и почвообразовательных процессов, что приводит к высокой вариабельности накопления органического вещества в почвах [39]. В настоящее время, в связи с незначительным периодом функционирования техноземов и эмбриоземов, среднее содержание органического углерода варьирует от 0,6 до 2,0 %. В поверхностном слое (0 – 5 см) практически во всех техноземах фиксируется увеличение концентрации органического углерода и с глубиной, вниз по профилю почв, происходит его снижение. В некоторых техноземах отмечается хаотичное распределение органического углерода по почвенному профилю. Например, в ТГН (Т 9) с глубиной наблюдается увеличение. Это обусловлено тем, что техноземы сформированы из смеси ПСП и четвертичных отложений I категории, поэтому органический углерод педогенного происхождения может быть распределен хаотично, по всему почвенному профилю. Максимальное содержание углерода наблюдается в этом же техноземе, по-видимому, наличие гумусовых веществ плодородного слоя почвы способствовало более высокому содержанию органического углерода (от 0,82 до 3,83 %). Особо следует

отметить содержание углерода в ЭИ (Т 10), его средние значения составляют 1,28 % (рисунок 6.35, таблица 6.4). Развитие растительного покрова на данных почвах очень слабое, и проективное покрытие за весь период исследования не превышало 2 %. Вероятно, такая концентрация вещества, прежде всего, связана с наличием углистых частиц в составе почв.

Таблица 6.4 – Статистические данные основных агрохимических и физико-химических показателей почв в слое 0 – 20 см

Тип почвы / № участка	Статистические данные	С _{орг.} ср., %	pH _{вод.} ср.	N _{общ} ср., %	P _{подв.} , мг/кг	K _{подв.} , мг/кг
ТГ (Т 1)	объем выборки	21	18	12	18	18
	среднее	1,44	6,53	0,13	63,26	102,14
	минимум	0,57	5,40	0,10	16,72	73,00
	максимум	2,83	7,85	0,16	117,03	172,50
	ошибка среднего	0,15	0,25	0,01	7,51	6,62
ТГ (Т 2)	объем выборки	21	18	12	18	18
	среднее	0,89	6,50	0,08	40,70	102,67
	минимум	0,39	5,40	0,06	12,82	75,00
	максимум	1,89	7,83	0,10	63,53	200,00
	ошибка среднего	0,10	0,23	0,00	3,57	7,01
ТГ (Т 3)	объем выборки	21	18	12	18	18
	среднее	0,60	6,23	0,07	31,69	105,94
	минимум	0,33	4,70	0,05	4,46	62,00
	максимум	1,16	7,84	0,09	108,67	177,50
	ошибка среднего	0,05	0,24	0,00	5,70	9,09
ТГ (Т 4)	объем выборки	21	18	12	18	18
	среднее	1,13	6,61	0,16	35,09	106,22
	минимум	0,28	4,90	0,07	5,57	65,00
	максимум	2,75	7,66	0,90	78,58	200,00
	ошибка среднего	0,14	0,23	0,07	5,34	10,27
ТЛ (Т 5)	объем выборки	21	18	12	18	18
	среднее	0,86	7,05	0,08	24,64	98,11
	минимум	0,15	6,40	0,06	5,02	62,00
	максимум	1,54	7,62	0,10	127,62	140,00
	ошибка среднего	0,09	0,09	0,00	6,76	7,12
ТД (Т 6)	объем выборки	21	18	12	18	18
	среднее	1,34	7,56	0,13	28,51	94,39
	минимум	0,32	6,60	0,11	7,80	67,00
	максимум	2,39	8,64	0,15	81,36	130,00
	ошибка среднего	0,15	0,14	0,00	4,01	4,33

Продолжение таблицы 6.4

Тип почвы / № участка	Статистические данные	С _{орг.} ср., %	pH вод ср.	N _{общ.} ср., %	P _{подв.} , мг/кг	K _{подв.} , мг/кг
ТЛ (Т 7)	объем выборки	21	18	12	18	18
	среднее	1,03	6,92	0,08	36,16	110,56
	минимум	0,62	6,00	0,01	2,23	72,00
	максимум	1,69	7,74	0,13	89,72	160,00
	ошибка среднего	0,07	0,13	0,01	5,56	6,87
ТЛ (Т 8)	объем выборки	21	18	12	18	18
	среднее	1,15	7,54	0,12	28,24	105,89
	минимум	0,61	6,40	0,10	5,57	60,00
	максимум	2,74	8,16	0,15	49,04	172,50
	ошибка среднего	0,11	0,12	0,01	3,20	7,60
ТГН (Т 9)	объем выборки	21	18	12	18	18
	среднее	2,04	7,17	0,17	136,72	110,28
	минимум	0,82	6,50	0,13	21,73	89,00
	максимум	3,83	7,75	0,22	543,36	130,00
	ошибка среднего	0,19	0,10	0,01	31,75	3,14
ЭИ (Т 10)	объем выборки	21	18	12	18	18
	среднее	1,28	9,00	0,13	9,19	160,61
	минимум	0,57	8,12	0,10	1,67	95,00
	максимум	3,85	9,40	0,15	17,83	235,00
	ошибка среднего	0,16	0,06	0,00	1,33	10,47

Содержание общего азота тесно связано с концентрацией органического вещества в почвах, жизнедеятельностью микроорганизмов и развитием фитоценозов. Максимальное содержание общего азота наблюдается в техноземах литогенных и варьирует по почвенному профилю от 0,13 до 0,22 %, так как это определяется содержанием органического вещества и активной трансформацией растительного покрова (проективное покрытие на участке изменилось с 10 % – 2024 г. до 65 % – 2025 г.). Анализ содержания общего азота в ТЛ варьирует от 0,06 до 0,22 % (рисунок 6.35, таблица 6.4).

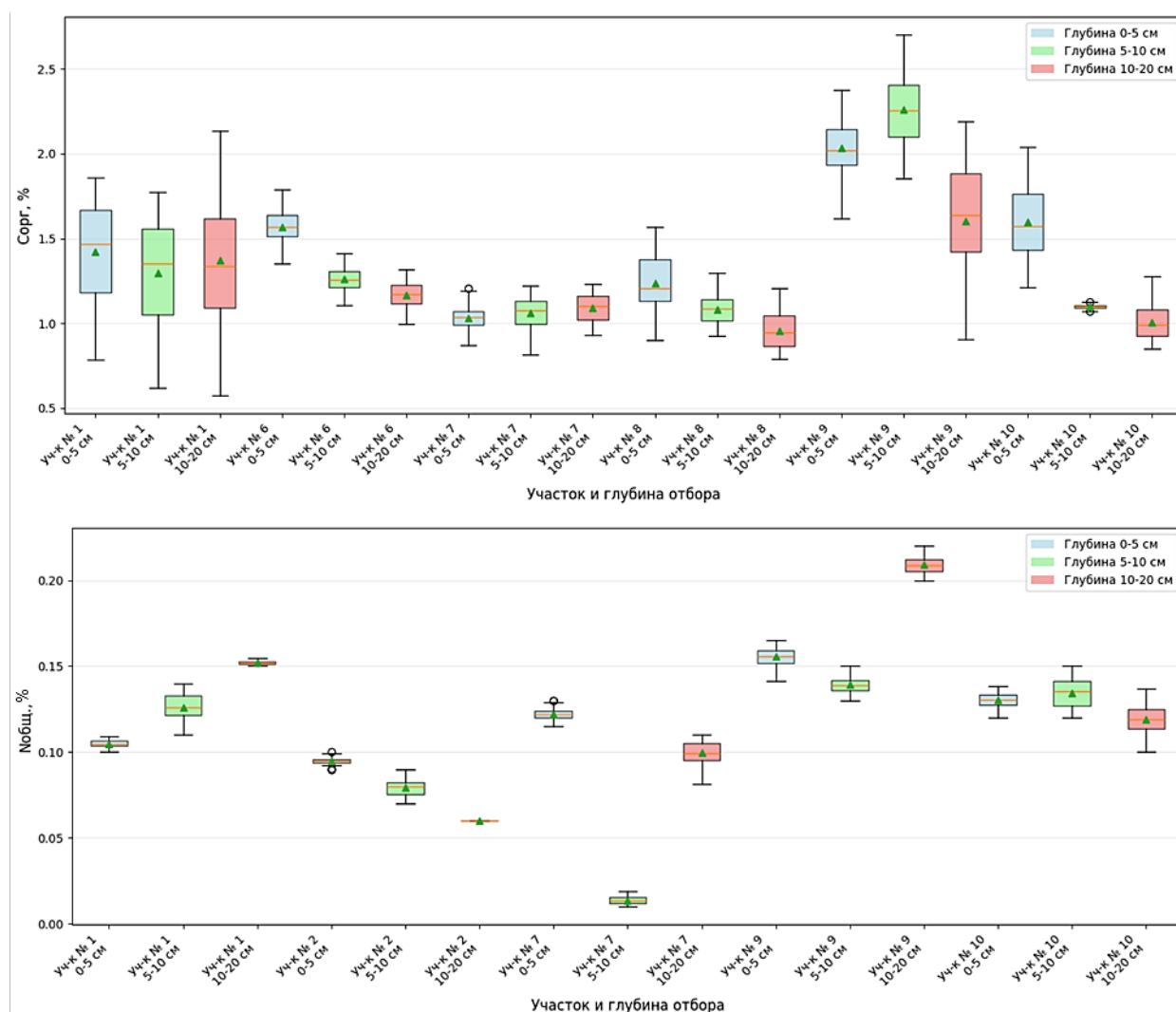


Рисунок 6.35 – Содержание органического углерода и общего азота в почвенном профиле, %

Вероятно, это тоже связано с содержанием органического вещества и уровнем развития биогеоценоза. Концентрация общего азота в почвенном профиле ЭИ (Т 10) изменяется от 0,10 до 0,15 % и связано с наличием углистых частиц в составе почв.

Анализ содержания доступных форм фосфора и калия для растений показал, что максимальное количество элементов питания практически во всех техноземах сосредоточено в поверхностных слоях (0 – 5 см). Содержание подвижных форм фосфора варьирует от 4,46 до 543,36 мг/кг. Максимальное распределение элементов питания по почвенному профилю наблюдается в ТГН (Т 9) и изменяется от 89,44 до 208,80 мг/кг (рисунок 6.35, таблица 6.4). Вероятнее всего, подобная неравномерность распределения вызвана влиянием

минералогического состава пород и их литогенной пространственной неоднородностью.

Также результаты исследований показывают, что в почвах техногенных ландшафтов отмечается очаговость распределения содержания фосфора в подвижной форме, она зависит от стадии развития почв и содержания органического вещества [205].

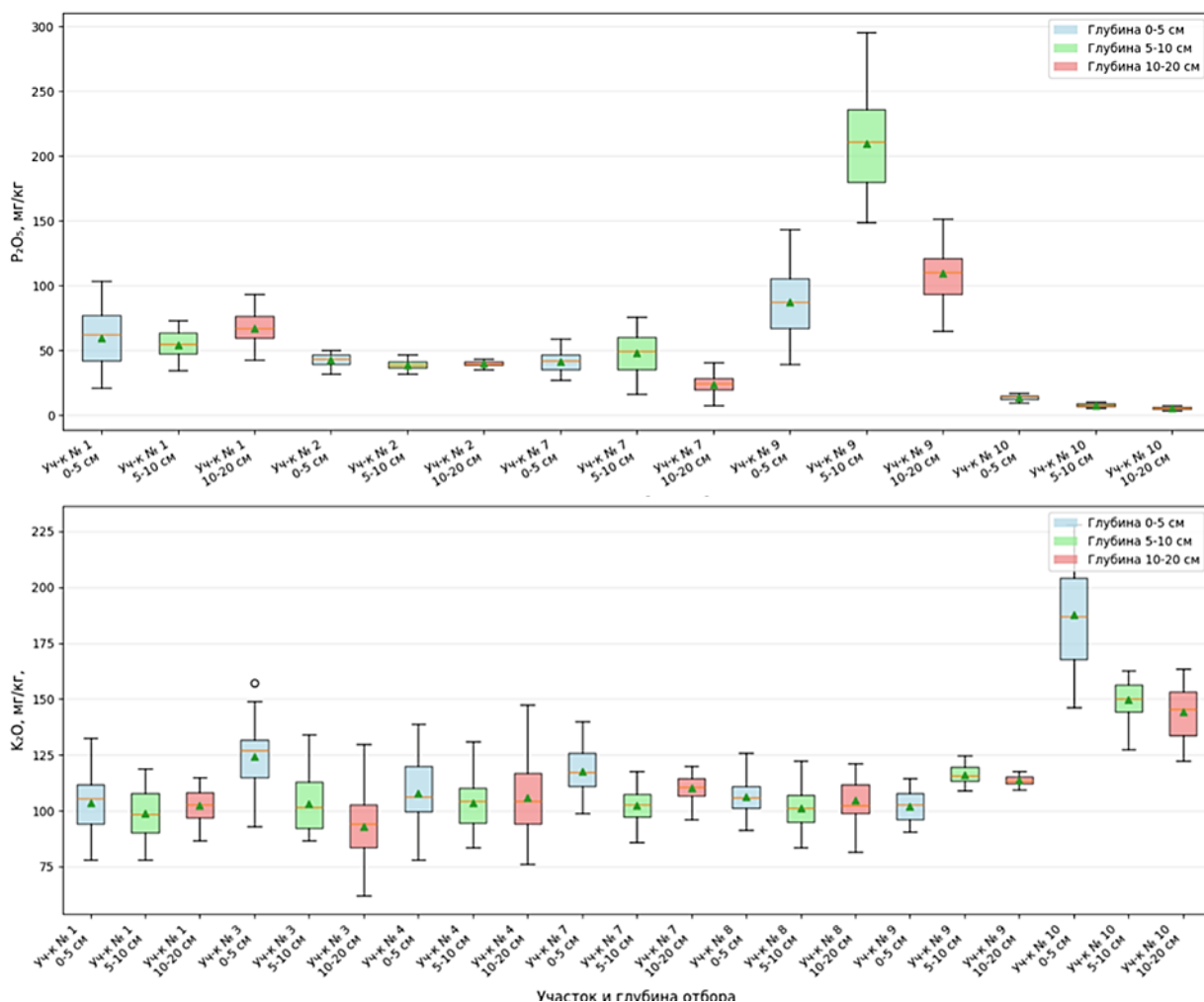


Рисунок 6.35 – Содержание подвижного фосфора и калия в почвенном профиле, %

В ЭИ (Т 10) наблюдается незначительная концентрация подвижных форм фосфора, и его содержание варьирует от 1,67 до 77,83 мг/кг. Однако по содержанию доступных форм калия в данных почвах наблюдается максимальная концентрация от 95 до 235 мг/кг (рисунок 6.35, таблица 6.4). Это обусловлено минералогическим составом эмбриоземов инициальных, наличие первичных минералов, таких как полевые шпаты.

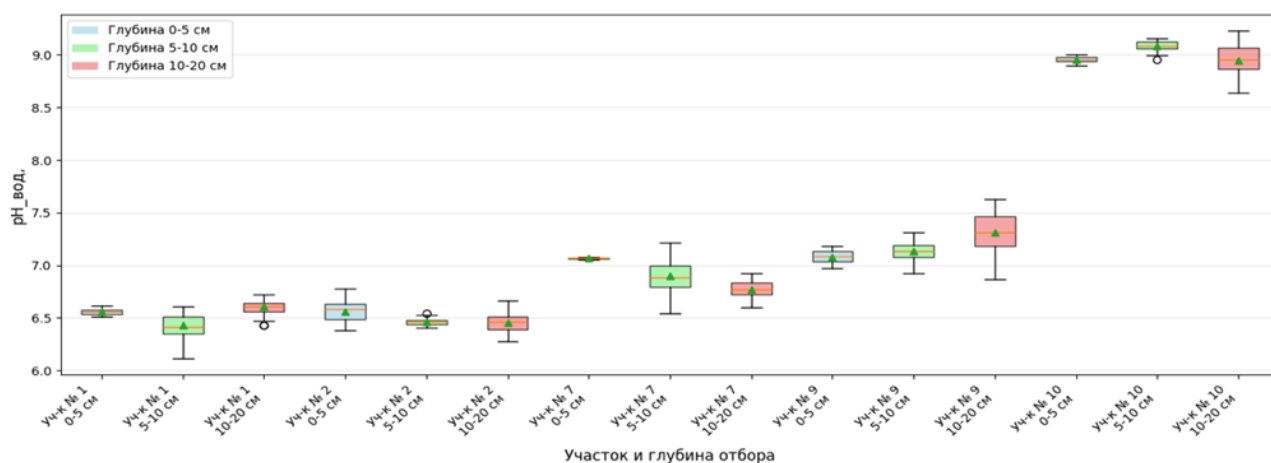


Рисунок 6.36 – Реакция среды в почвенном профиле

Во всех техноземах наблюдаются благоприятные показатели реакции почвенного раствора от нейтральной до слабощелочной. В эмбриоземах инициальная реакция почвенного раствора характеризуется как сильнощелочная и изменяется по почвенному профилю от 8,96 до 9,08 (рисунок 6.36, таблица 6.4).

6.2 Влияние технологии рекультивации на гидротермический режим техноземов и эмбриоземов на участках рекультивации

Исследования тепловых свойств техноземов и эмбриоземов на полигоне проводились с использованием автоматических датчиков «Термохрон», которые устанавливались в почвах на глубинах 5, 10, 20 и 50 см почвенного профиля. Температура измерялась каждые 3 ч в период с 24.09.2023 г. по 23.09.2024 г. Для проведения эксперимента в вертикальном срезе почвенного профиля, сформированного на техногенных ландшафтах, были сделаны плотные прикопки (лунки), диаметр которых соответствовал размеру термодатчиков для обеспечения их максимального контакта с грунтом. После установки термодатчиков углубления были засыпаны вынутым грунтом, почвенный профиль восстановлен, а поверхность тщательно уплотнена. Термодатчики были связаны капроновой нитью, и часть её была выведена на поверхность техноземов и эмбриоземов, затем зафиксирована на деревянном бруске.

Данные исследования легли в основу оценки температурного режима техноземов и эмбриоземов. Рассчитаны ключевые климатические показатели: среднегодовые и среднесуточные температуры, суммы активных температур ($\Sigma t > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$), а также суммы положительных и отрицательных значений. Дополнительно проанализированы экстремальные (максимальные и минимальные) показатели и установлены даты устойчивого перехода температур через ноль.

По результатам исследований выявлено, что суммы биологически активных температур ($\Sigma t > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) ТЛ (точка 7) и ЭИ (точка 10) выше в сравнении с приземным слоем воздуха на полигоне, значения превышают температуру воздуха на 80 – 250 градусов. Максимальные превышения температуры зафиксированы на участке № 10 (ЭИ). Следует отметить, что в поверхностном слое ТГН (точка 9) сумма биологически активных температур ниже, чем температура приземного слоя воздуха над полигоном (таблица 6.5).

Таблица 6.5 – Основные параметры теплового режима

Номер точки	Глубина, см	Температура, °С								Среднемесячная Т, °С											
		среднегодовая	минимальная	максимальная	максимальная среднесуточная	минимальная среднесуточная	сумма отрицательных среднесуточных	сумма положительных среднесуточных	сумма биологически активных	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
T7	5	7,8	-4,5	41	32,8	-3,8	-144,4	2870,8	2516,3	-1,0	-0,6	-0,3	6,4	11,9	22,7	25,3	20,8	9,9	3,8	-0,8	-1,7
T7	10	7,6	-3	35,5	30,8	-2,7	-140,6	2801,1	2436,6	-1,1	-0,8	-0,5	5,7	11,3	21,6	24,7	20,7	10,0	4,0	-0,5	-1,4
T7	20	7,6	-2	30,5	28,3	-2,0	-102,3	2755,4	2368,2	-0,9	-0,5	-0,5	5,4	10,9	20,1	23,9	20,7	10,7	4,4	0,1	-1,0
T7	50	7,8	-0,5	25,5	25,0	-0,5	-6,1	2714,0	2217,0	-0,1	0,0	0,0	4,4	9,7	17,5	22,5	20,6	12,2	5,9	1,5	0,2
T9	5	7,2	-2	36	29,7	-2,0	-106,3	2602,8	2156,9	-0,7	-0,5	-0,5	5,0	9,6	20,4	23,5	19,3	9,3	3,6	-0,3	-1,0
T9	10	7,3	-1,5	31,5	28,0	-1,1	-77,1	2611,4	2198,8	-0,5	-0,5	-0,5	5,0	9,7	19,6	23,2	19,5	9,9	4,0	0,1	-0,7
T9	20	7,5	-0,5	28,5	26,6	-0,5	-2,9	2591,9	2103,6	0,0	0,0	0,0	4,7	8,9	18,8	22,9	19,8	10,7	4,8	1,0	0,2
T9	50	7,7	0,5	23,5	23,5	0,5	0,0	2683,7	2021,9	0,5	0,5	0,5	3,9	8,3	16,3	21,5	19,7	12,1	6,2	2,4	1,1
T10	5	9,5	-1	45	40,1	-0,9	-5,1	3160,8	2683,1	-1	-1	0,5	7,1	12,8	26	29	25	14	2,8	0,5	0
T10	10	8,6	-1	35	30,7	-0,9	-4,2	3003,8	2586,1	0,5	0,5	0,4	6,4	12,4	22,0	25,3	21,4	10,7	4,4	0,6	0,8
T10	20	9,0	0,5	31,5	29,3	0,5	0	3136,3	2608,2	1,1	1	0,9	6,5	12,4	21,1	25,1	21,9	11,8	5,3	1,4	1,3
T10	50	9,4	1,5	26	25,6	1,5	0	3192,0	2314,0	2,6	2,5	2,2	5,7	10,9	18,0	23,4	21,8	13,6	7,3	3,6	3,1
T8	воздух	5,1	-27	50,5	33,7	-22,9	-1025,3	2797,4	2433	-8,75	-8,2	-1,5	7,5	11,7	23,0	23,4	19,2	8,5	2,8	-3,7	-9,4
контр.	5	5,8	0,5	23	21	0,5	0	2296,8	1720	0,5	0,5	1	3,1	10	15,1	20	19,1	8,9	2,4	0,5	0,5
контр.	10	5,1	0,5	20	19,3	0,5	0	2251,8	1662	1	1,0	0,6	2,9	8,4	14,6	17,7	16,5	9,7	4,5	1,3	1,0
контр.	20	6,2	1	16,4	17,2	1	0	2220,1	1560	1	1	1	2,4	7,1	13,2	16,5	15,7	10,7	5,2	2,1	1,8
контр.	50	6,3	1	15,5	15,1	1	0	2183,1	1291,4	2	1,8	1,5	2,0	5,6	10,4	14,0	14,5	10,9	6,5	3,6	2,6
контр.	воздух	3,9	-28	34,5	27,6	-23,5	-1114	2464,3	2019,4	-9,3	-8,8	-2,6	6,4	10,3	19,5	20,6	17,7	7,8	2,7	-4,3	-9,9

Сумма биологически активных температур ($\Sigma t > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) в верхнем 5-см слое ТЛ и ЭИ варьирует в широких пределах. Максимальные значения зафиксированы в ЭИ и составляют 2683,1 $^{\circ}\text{C}$, что на 963,0 $^{\circ}\text{C}$ выше, чем в поверхностном слое естественных почв (рисунок 6.37).

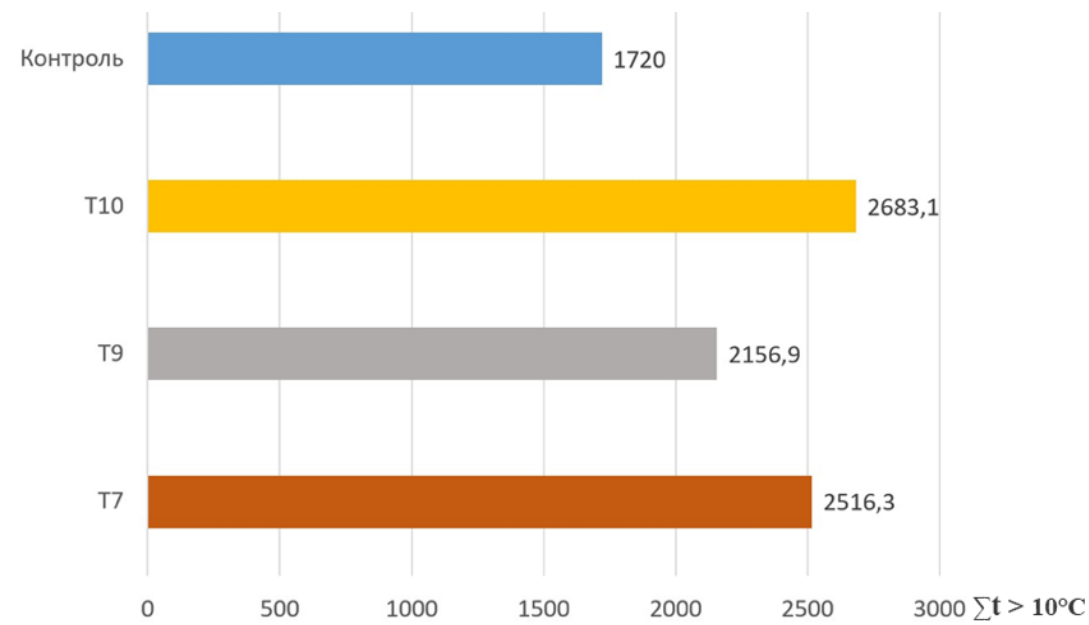


Рисунок 6.37 – Сумма биологически активных температур воздуха и почв на глубине 5 см

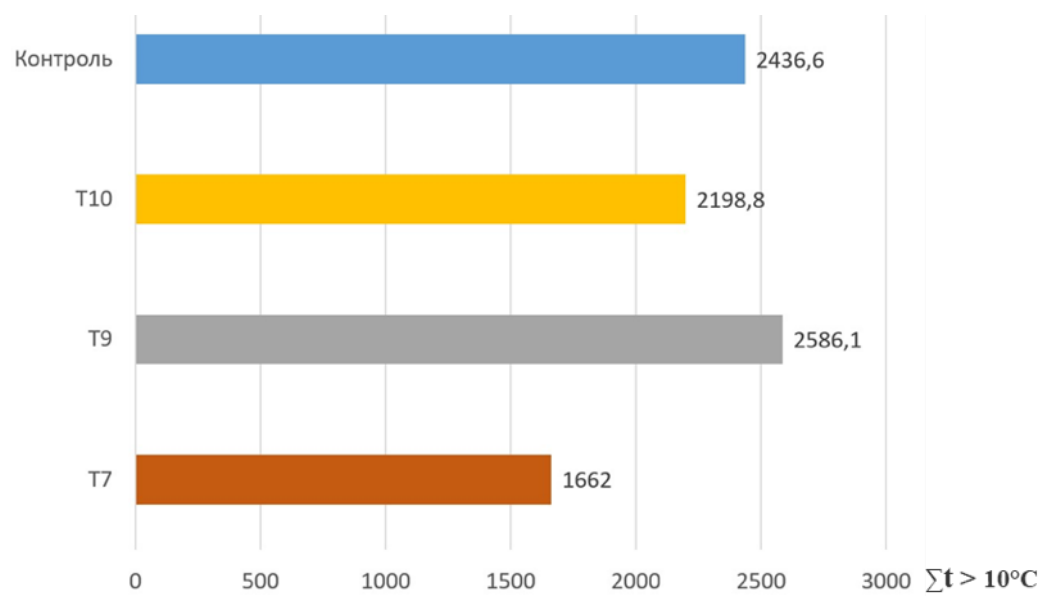


Рисунок 6.38 – Сумма биологически активных температур воздуха и почв на глубине 10 см

Минимальные значения установлены в ТГН (участок № 9) – 2156, 9 °С, и эти значения максимально приближены к температуре поверхностного слоя естественных почв (таблица 6.5). Результаты оценки суммы биологически активных температур показали снижение её значений с глубиной. В среднем отмечается уменьшение на 220 °С.

Максимальное снижение суммы биологически активных температур с глубиной по профилю наблюдается в ЭИ. Этот факт свидетельствует о сильном нагреве каменистой поверхности ЭИ в теплый период года.

Максимальная среднесуточная и максимальная температура была зафиксирована в поверхностном слое ЭИ и составила 40,1 и 45,0 °С, что на 19,1 и 22,0 °С выше, чем в аналогичном слое прилегающих естественных почв.

Во время наблюдения за тепловым режимом (с 24 сентября 2023 г. по 23 сентября 2024 г.) можно выделить следующие периоды: осенний – с сентября по ноябрь 2023 г.; зимний – с декабря 2023 г. по февраль 2024 г.; весенний – с марта по май 2024 г. и летний – с июня по август 2024 г.

В течение осеннего периода практически во всех техноземах в поверхностном слое постепенно происходило снижение температуры, в нижней части профиля с глубиной температура увеличивалась и была положительной. В ноябре месяце в поверхностном слое техноземов наблюдалась отрицательная температура (от – 0,8 до – 0,3 °С).

В период зимних наблюдений тепловой режим поверхностного слоя (5 см) во всех техноземах варьировал от –0,6 до –0,5 °С. Следует отметить, что в ТЛ (участок № 7) по всему профилю почвы была зафиксирована отрицательная температура и только в феврале месяце на глубине 50 см отмечается 0 °С (рисунок 6.37). Промерзание почвенного профиля ТЛ обусловлено, прежде всего, высокой каменистостью (доля фракции диаметром >10 мм от 30 – 53 % и диаметром <1 мм от 18 – 12 %). Мощность снежного покрова в марте 2024 г. составляла 48,7 см.

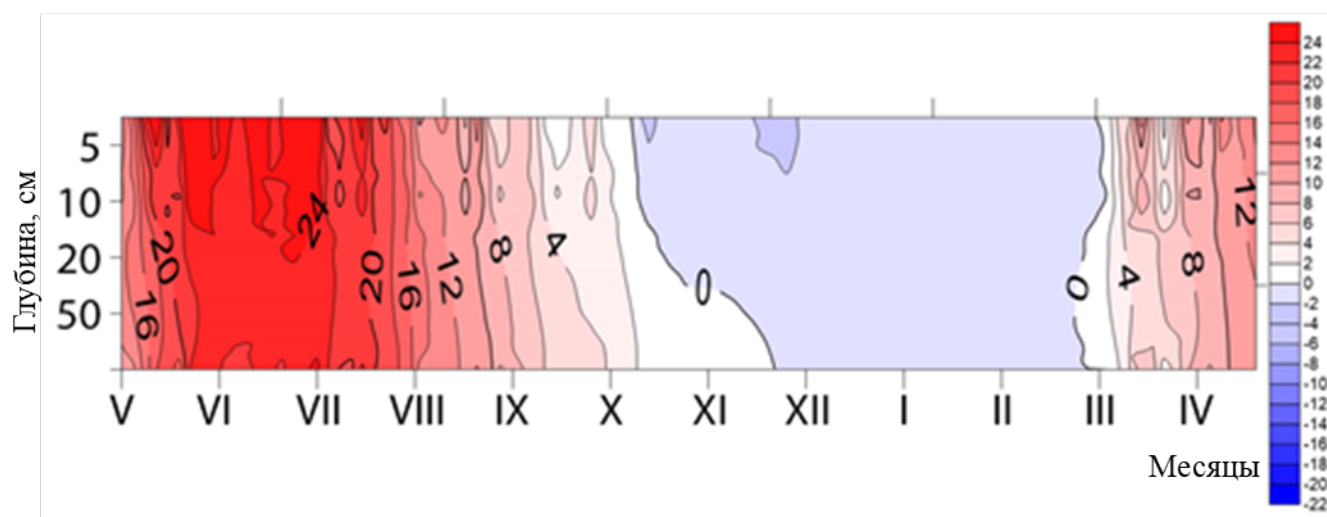


Рисунок 6.37 – Термоизоплеты ТЛ (точка № 7)

В профиле ТГН отрицательные температуры наблюдаются только в слоях до 10 см и с глубиной по профилю отмечаются положительные температуры (рисунок 6.38). Мощность снежного покрова составляла 37,7 см. Благоприятный фракционный состав (содержание фракций диаметром более 10 мм составляет 10 – 16 %, а диаметром менее 1 мм – 30 – 39 %) и хорошие запасы влаги не дают почвам промерзнуть по всему профилю, несмотря на то, что мощность снежного покрова здесь ниже, чем на участке № 7, где сформированы ТЛ.

В период весенних наблюдений происходит постепенное таяние снега и поступление тепла на поверхность. В апреле 2024 г. наблюдается активное прогревание поверхности техноземов, затрагивающее как верхний, так и нижний горизонты почвенного профиля. Температура поверхностного слоя (5 см) техноземов литогенных составляла от – 0,3 до 12,8 °С, а в нижней части почвенного профиля (50 см) от 0 до 10,9 °С. Наиболее активное прогревание верхней части почвенного профиля фиксируется в апреле месяце. В период с июля по август 2024 г. наблюдается активный прогрев поверхности почв, с глубиной по профилю отмечаются незначительные снижения температуры, так на глубине 50 см она варьирует от 16,3 до 21,8 °С.

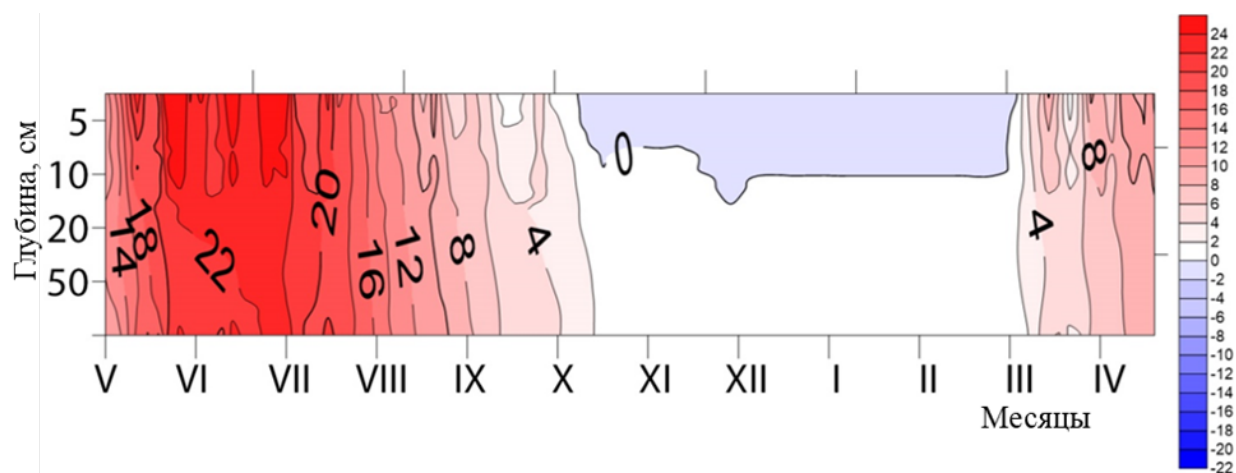


Рисунок 6.38 – Термоизоуплеты техноземов недифференцированных гумусогенных (участок № 9)

Особо следует отметить температурный режим ЭИ, практически в течение всего периода наблюдений за температурным режимом фиксируются положительные температуры как в верхней части почвенного профиля, так и в нижней. Исключение составляет период с января по февраль 2024 г., в верхнем слое (5 см) температура опускалась до 1 °С. Причем с глубиной по профилю температура увеличивалась и на глубине 50 см варьировалась от 2,5 до 3,1 °С. Мощность снежного покрова в марте 2024 г. составляла 55,3 см, что на 10 см выше, чем на участках с техноземами.

По результатам исследований выявлено следующее: устойчивый переход через 0 °С в сторону отрицательных температур зафиксирован в верхней части всех техноземов (8 ноября 2024 г.). В ЭИ устойчивый переход через 0 °С фиксируется только в период с 9 ноября по 19 ноября 2024 г., далее переход к отрицательным температурам не обнаружен (таблица 6.6).

Также следует отметить, что зима 2023 – 2024 г. была аномально теплой, так в январе месяце среднемесячная температура составляла всего –11,6 °С.

Таблица 6.6 – Период перехода параметров теплового режима к отрицательным и положительным температурам

Номер точки	Глубина, см	Переход к отрицательным	Переход к положительным
T7	5	08.11.2024 г.	02.04.2025 г.
T7	10	09.11.2024 г.	04.04.2025 г.
T7	20	13.11.2024 г.	04.04.2025 г.
T7	50	26.12.2024 г.	05.04.2025 г.
T9	5	08.11.2024 г.	04.04.2025 г.
T9	10	11.11.2024 г.	04.04.2025 г.
T9	20	26.12.2024 г.	04.04.2025 г.
T9	50	переход к отрицательным температурам не обнаружен	
T10	10	09.11.2024 г.	19.11.2024 г.
T10	20	переход к отрицательным температурам не обнаружен	
T10	50	переход к отрицательным температурам не обнаружен	
T8	воздух	18.09.2024 г.	последний минус 25.04.2025 г.
контроль	5	переход к отрицательным температурам не обнаружен	
контроль	10	переход к отрицательным температурам не обнаружен	
контроль	20	переход к отрицательным температурам не обнаружен	
контроль	50	переход к отрицательным температурам не обнаружен	
контроль	воздух	18.09.2024 г.	последний минус 25.04.2025 г.

Вода принадлежит ведущая роль в процессах почвообразования. Она является обязательным условием для протекания химических реакций: гидролиза, гидратации и растворения минералов. Во влажной среде осуществляются окислительно-восстановительные реакции, а также формируется окислительно-восстановительный режим. Кроме того, вода участвует в трансформации органических соединений и обеспечивает передвижение растворимых веществ в почвенном профиле. Влажность почвы напрямую регулирует ее тепловой режим и является главным источником минерального питания для растений.

Вопросы состояния почвенной влаги, ее передвижения по почвенному профилю, доступность для растений, водного режима в почвах изучались многими учеными [206 – 208]

Исследователи уделяли особое внимание почвенно-гидрологическим константам, поскольку при переходе от количественных изменений содержания почвенной влаги к качественным меняется характер ее передвижения [197, 207, 208]. Некоторые константы могут быть изменчивы и зависеть от состояний почвы [202]. Выделяют следующие гидрологические константы: гигроскопическая влажность (ГВ), максимально гигроскопическая влажность (МГ), влажность завядания растений (ВЗ), влажность разрыва капилляров (ВРК), наименьшая влагоемкость (НВ), капиллярная влагоемкость (КВ) и полная влагоемкость (ПВ).

В настоящей работе проводилась оценка общих запасов почвенной влаги с применением почвенно-гидрологических констант. Для определения подвижности влаги в техноземах и эмбриоземах использовалась шкала, предложенная А.А. Роде [207, 208].

Максимальная гигроскопичность (МГ) – это характеристика влажности почвы, которая показывает ее способность поглощать из атмосферного воздуха максимальное количество парообразной воды при относительной влажности воздуха около 98 %. Эта характеристика напрямую зависит от гранулометрического состава почвы, влага для растений в этом состоянии недоступна [209]. По данной характеристике рассчитывается коэффициент влажности завядания (ВЗ).

Влажность завядания (ВЗ) растений – это нижний предел доступной влажности почвы для жизнедеятельности растений, при котором влага в почве для растений становится недоступной и происходит устойчивое завядание растений. В работе влажность завядания определена по гидрологической константе максимальной гигроскопичности (МГ): влажность завядания (ВЗ) = 1,43 максимальной гигроскопичности (МГ). Данная величина зависит от минералогического состава почв и видового состава растений [202, 209].

Гидрологическая константа разрыва влажности капиллярной связи (ВРК) характеризует подвижность влаги в почве, и при снижении влажности почвы данная величина существенно снижается. Величина ВРК приближена к 70 % от величины наименьшей влагоемкости (НВ) суглинистых почв.

Величина наименьшей влагоемкости (НВ) почв, при которой почва может удержать наибольшее количество почвенной влаги при максимальном насыщении ее водой, например, после сильного дождя или обильного полива и стеканий влаги по почвенному профилю. Данная величина определялась в пробах, отобранных в полевых условиях на полигоне, через 3 дня после сильного дождя.

В работе определялись общие запасы влаги в 20-сантиметровом слое почвы техноземов и эмбриоземов в сравнении с прилегающими естественными почвами, поскольку именно этот поверхностный слой наиболее подвержен суточным и сезонным колебаниям. В связи с тем, что в поверхностном слое почвенного профиля находится основная масса корневой системы растений, это слой представляет интерес для исследований, которые проводились в период с мая по сентябрь 2024 г.

Общие запасы влаги в 20-сантиметровом слое всех техноземов и эмбриоземов за указанный период различаются в зависимости от содержания фракций мелкозема и физической глины в почвах. Следует отметить, что в течение всего исследования отмечалось равномерное выпадение атмосферных осадков. Наименьшие запасы влаги зафиксированы в эмбриоземе инициальном (рисунок 6.39). Несмотря на то, что изучаемые объекты находятся в горно-таежной подзоне Кузбасса с избыточным увлажнением, в течение всего вегетационного периода запасы влаги находились в диапазоне труднодоступной влаги ВЗ – ВРК, а в определенные периоды (температура поверхностного слоя в июне и июле 2024 г. варьировала от 22,0 до 25,3 °С) запасы влаги снижались до уровня влажности завядания (ВЗ) и были в недоступной форме для растений.

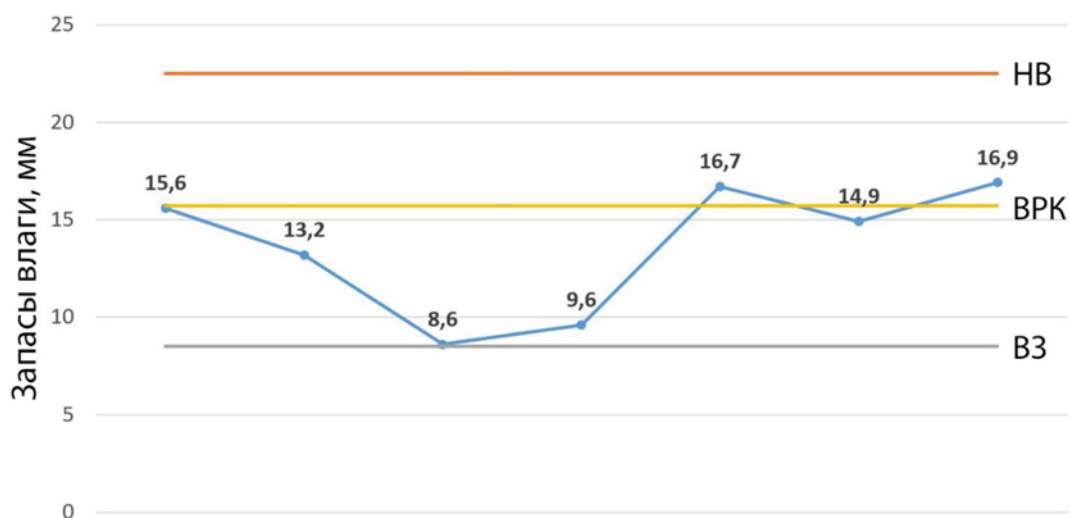


Рисунок 6.39 – Динамика влагозапасов в период с мая по сентябрь, ЭИ (участок № 10)

Такие свойства почвы, как высокая каменистость, низкое содержание фракции физической глины, темно-серый цвет и высокая плотность, которая увеличивается с глубиной по почвенному профилю, приводят к значительному нагреву и сильному иссушению поверхностных слоев эмбриоземов инициальных, что впоследствии служит причиной нарастания ксероморфизма.

Запасы влаги в ТЛ (участки № 6, 8 и 9) в течение всего исследуемого периода находились на высоком уровне, в диапазоне НВ – ВРК. Это объясняется тем, что в почвенном профиле техноземов литогенных содержание фракций и физической глины чуть больше, чем в профиле других почв. Следовательно, в течение всего вегетационного периода влага находилась в легкодоступной форме для растений (рисунки 6.41 – 6.43).

Особо следует отметить, что ТГН (участок 9) по своим запасам влаги максимально приближены к естественным почвам (рисунок 6.40). В течение всего вегетационного периода запасы влаги находились в диапазоне легкодоступной влаги НВ – ВРК.

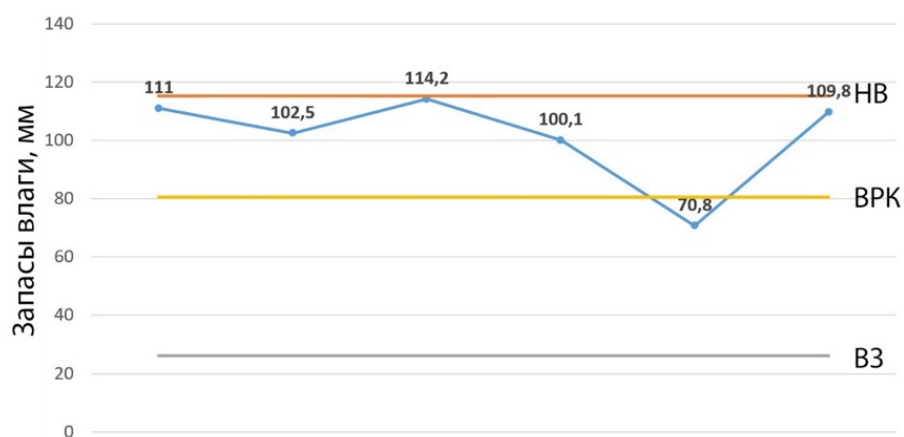


Рисунок 6.40 – Динамика влагозапасов в период с мая по сентябрь естественных почв

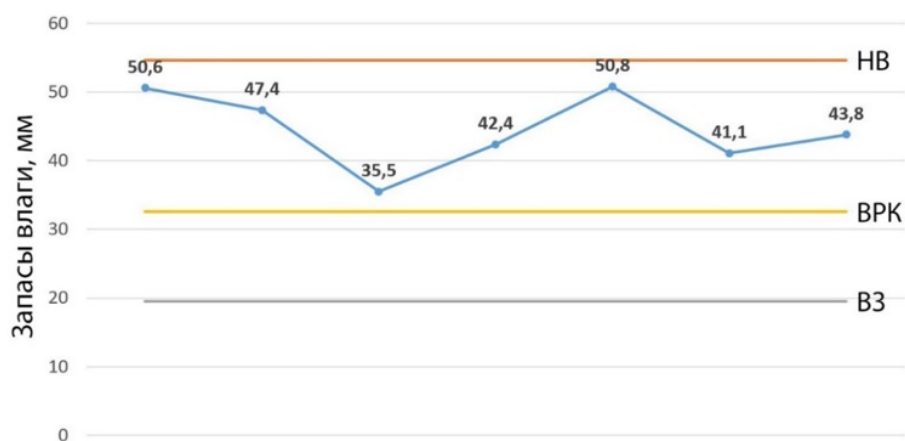


Рисунок 6.41 – Динамика влагозапасов в период с мая по сентябрь ТЛ (участок № 6)

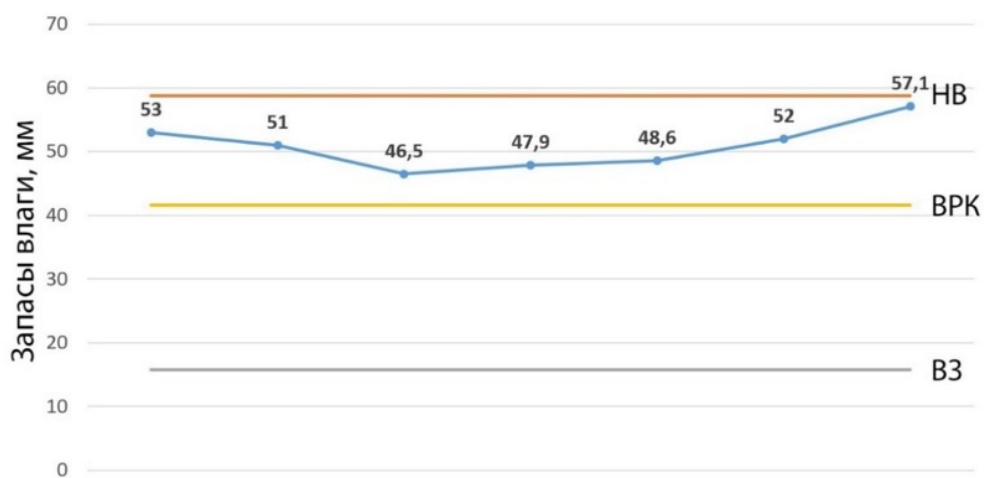


Рисунок 6.42 – Динамика влагозапасов в период с мая по сентябрь ТЛ (участок № 8)

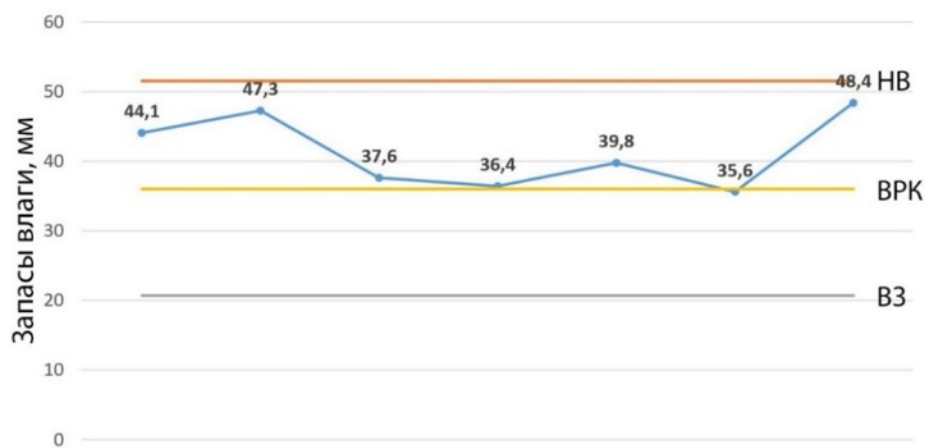


Рисунок 6.43 – Динамика влагозапасов в период с мая по сентябрь ТГН (участок № Т 9)

Значительное влияние на динамику влагозапасов техноземов, вероятнее всего, оказывает тот факт, что данные техноземы сформированы из смеси ПСП и четвертичных отложений I категории (покровные суглинки), имеют благоприятный минералогический и гранулометрический составы, больше фракции мелкозема и, соответственно, лучшие показатели водного режима.

В ТЛ (участки № 1, 2, 3, 4, 5 и 7) наблюдается другая агрофизическая ситуация (рисунки 6.44 – 6.49).

В определенные периоды времени, в основном в июле и августе, запасы влаги снижаются, особенно в поверхностных слоях, и находятся в диапазоне ВЗ – ВРК, труднодоступной влаги для растений. Интенсивное испарение – в самые жаркие месяцы (температура почвы поверхностного слоя техноземов в июле и августе 2024 г. варьировалась от 22,7 до 25,3 °С) на поверхности техноземов, низкое содержание фракций мелкозема и физической глины, слабое развитие растительного покрова привели к потере влаги, особенно в поверхностных слоях техноземов.

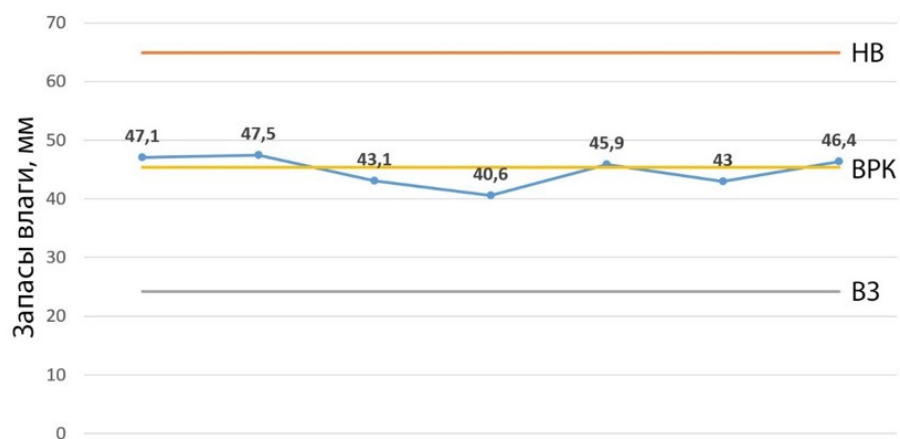


Рисунок 6.44 – Динамика влагозапасов в период с мая по сентябрь,
ТЛ (участок № 1)

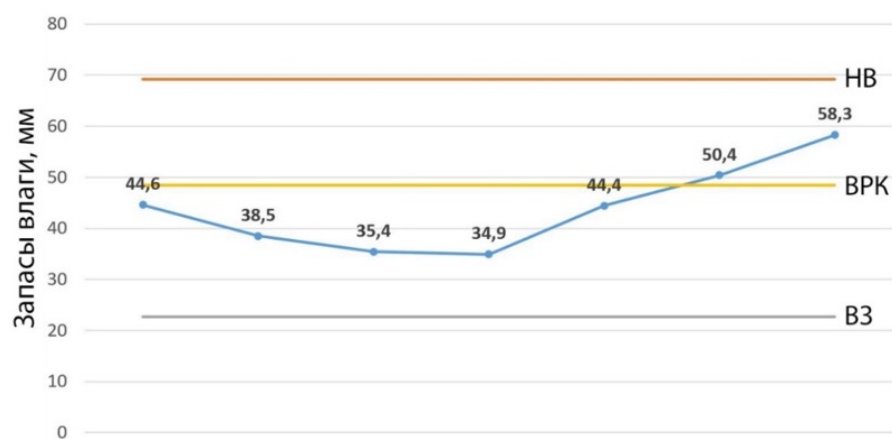


Рисунок 6.45 – Динамика влагозапасов в период с мая по сентябрь, ТЛ
(участок № 2)

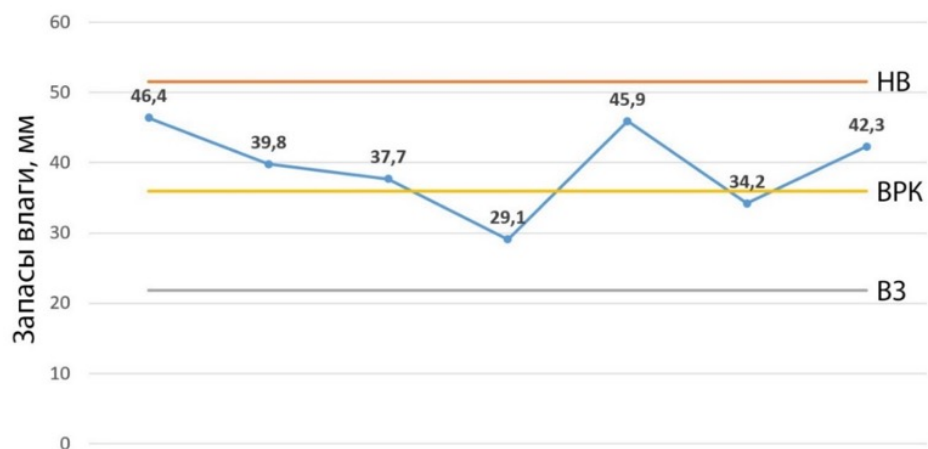


Рисунок 6.46 – Динамика влагозапасов в период с мая по сентябрь, ТЛ
(участок № 3)

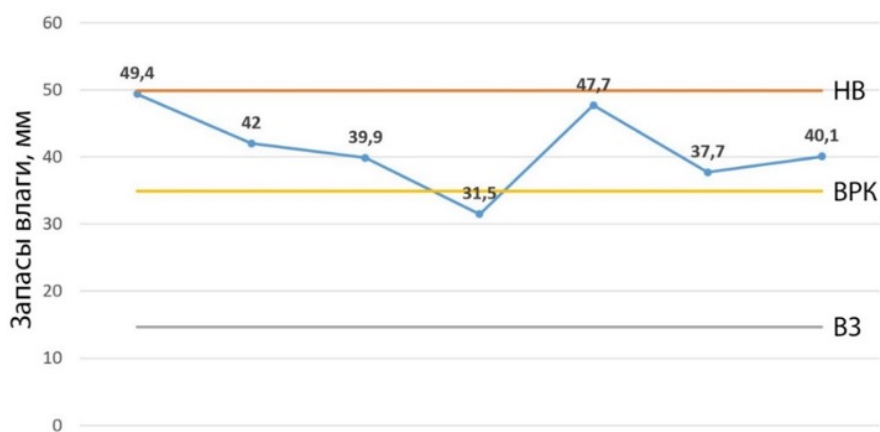


Рисунок 6.47 – Динамика влагозапасов в период с мая по сентябрь, ТЛ
(участок № 4)

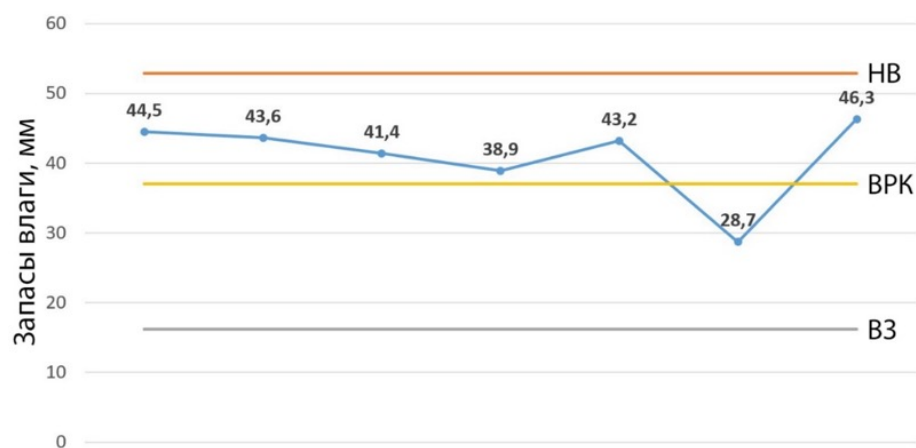


Рисунок 6.48 – Динамика влагозапасов в период с мая по сентябрь, ТЛ
(участок № 5)

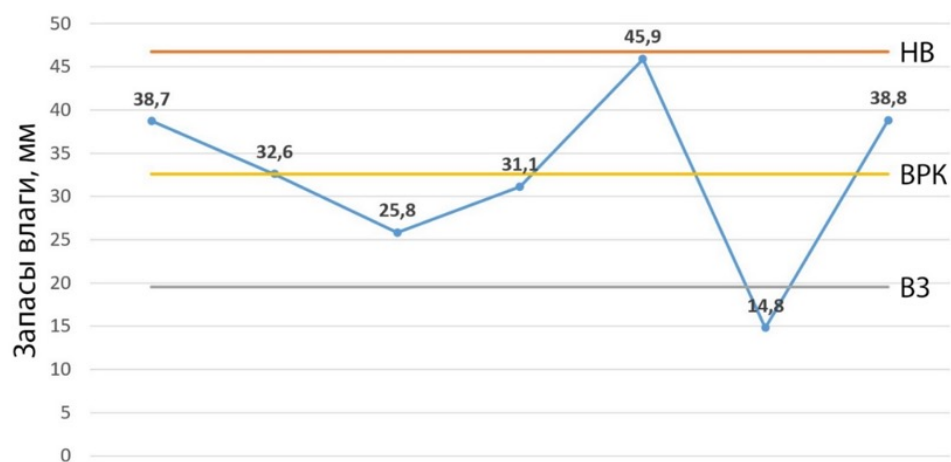


Рисунок 6.49 – Динамика влагозапасов в период с мая по сентябрь,
ТЛ (участок № 6)

Однако следует отметить: с глубиной по почвенному профилю всех техноземов общие запасы влаги увеличиваются.

Таким образом, водный режим ТЛ, сформированный из четвертичных отложений, практически весь вегетационный период находился в диапазоне легкодоступной влаги для растений, в диапазоне НВ – ВРК, за исключением нескольких месяцев (июль и август), когда её количество снижалось. Незначительный период функционирования и значительный нагрев поверхности техноземов способствовал иссушающему эффекту. Однако, несмотря на то, что в почвенном профиле ТЛ наблюдается низкое содержание мелкозема (от 14 до 63 %), запасы влаги в течение всего периода не опускались ниже предела влажности завядания (ВЗ), в предел, при котором влага в почве для растений становится недоступной для корней, и происходит устойчивое завядание растений.

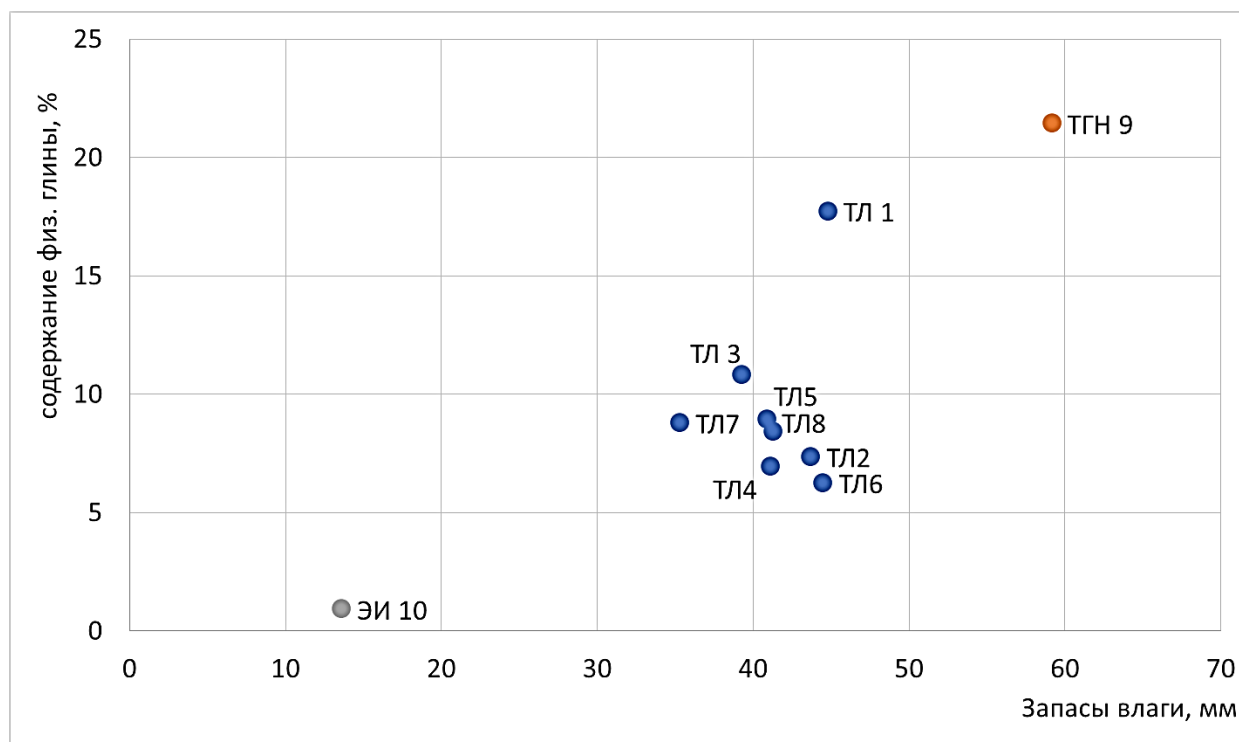


Рисунок 6.50 – Зависимость доступных запасов влаги от содержания фракции физической глины, %

На рисунке 6.50 отражена зависимость доступных запасов влаги техноземов и эмбриозема инициального от содержания фракции физической

глины, показано, что почвы, сформированные из плодородного слоя и четвертичных отложений I категории, а также четвертичных отложений II категории, имеют больше доступных запасов влаги для жизнедеятельности растений, чем ЭИ. Этот факт свидетельствует о влиянии минералогического (наличие глинистых минералов) и гранулометрического составов (содержание фракции физической глины) на водный режим техноземов.

6.3 Оценка развития растительного покрова на участках рекультивации

Для мониторинга состояния формирующегося растительного покрова на экспериментальных участках, где созданы искусственные почвы (техноземы) с использованием литогенных ресурсов (ПСП и четвертичные отложения I категории (покровные суглинки), а также четвертичных отложений II категории (смеси суглинков с включением слабоокатанной гальки, щебня коренных пород и выветрелого песчаника), а также для учета объемов поглощения CO₂ растениями на каждой мониторинговой площадке, были осуществлены геоботанические описания (в однократной повторности, мониторинговые площадки размером 10 × 10 м), на которых выполнен учет видового состава с оценкой обилия каждого вида [153]. Помимо прочего, проведен отбор надземной фитомассы травянистого яруса в трех кратной повторности.

6.3.1 Геоботанические описания и продуктивность растительного покрова

Мониторинговая площадка № 1

Площадка с насаждениями лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) и ели обыкновенной (*Picea abies*). Субстрат сформирован из четвертичных

отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров – технозем литогенный 100 % (рисунок 6.51, таблица 6.7).

Таблица 6.7– Древесный и кустарниковый ярусы

Название растения	Среднее количество на 100 м², ед.	Средняя высота, м		
		2023 г.	2024 г.	2025 г.
Высаженные				
Лиственница сибирская (Larix sibirica)	3,3	0,52	0,55	0,78
Ель обыкновенная (Picea abies)	13,0	0,52	0,52	0,71
Самосев				
Тополь черный (Populus nigra)	0,3	—	0,24	0,33

Общее проективное покрытие в 2024 г. составило 25 %, а в 2025 г. – 60 %. В зоне посева клевера ползучего (*Trifolium repens*) проективное покрытие 90 – 95 % [154, 210]



А



Б



В

Рисунок 6.51 – Фото участка № 1: А – 2023 г.; Б – 2024 г.; В – 2025 г..

После адаптации высаженных растений к новым условиям среды (2023 – 2024 гг.) наблюдается существенный годичный прирост около 20 см, а также с 2024 г. на участке фиксируется наличие подроста (самосев) единичных экземпляров тополя черного (*Populus nigra*).

В год создания полигона (2023 г.) было зафиксировано присутствие единичных или спорадично произрастающих экземпляров таких травянистых видов растений, как марь красная (*Chenopodium rubrum*), подорожник большой (*Plantago major*), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*). При обследовании участка в 2025 г. отмечается (в сравнении с 2024 г.) ряд следующих изменений. Общее проективное покрытие возросло с 25 до 60 %, в большей степени благодаря посеву клевера ползучего (*Trifolium repens*), помимо этого увеличилось проективное покрытие таких видов, как бодяк обыкновенный (*Cirsium vulgare*), ячмень гривастый (*Hordeum jubatum*), бодяк щетинистый (*Cirsium setosum*) и другие изменения. Видовое разнообразие увеличилось с 23 до 27 видов, при этом существенно изменился его состав, выпали из растительного сообщества семь видов: пикульник двунадрезанный (*Galeopsis bifida*), синюха голубая (*Polemonium caeruleum*), икотник серо-зелёный (*Berteroa incana*), оксибазис сизый (*Oxybasis glauca*) и другие, последний названный встречался в 2024 г. достаточно массово. В 2025 г. впервые отмечены на участке одиннадцать видов: золотарник канадский (*Solidago canadensis*), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), бодяк щетинистый (*Cirsium setosum*), звездчатка злаковидная (*Stellaria graminea*), пырей ползучий (*Elytrigia repens*) и другие, последние названные три вида встречаются обильно.

Необходимо отметить, что соотношение однолетних (включая двулетних) и многолетних видов также изменилось: в 2024 г. однолетних было 11 видов (48 %), а в 2025 г. составило 8 видов (30 %).

Также сократилось число сорных видов: в 2024 г. было зафиксировано 11 видов (48 %), а в 2025 г. – 10 видов (37 %).

Мониторинговая площадка № 2

Площадка с насаждениями сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica*). Субстрат представлен из

четвертичных отложений II категории. Почвенный покров сформирован техноземом литогенным – 100 % (рисунок 6.52, таблица 6.8).

Таблица 6.8 – Древесный и кустарниковый ярусы

Название растения	Среднее количество на 100 м², ед.	Средняя высота, м		
		2023 г.	2024 г.	2025 г.
Высаженные				
Лиственница сибирская (Larix sibirica)	7,0	0,30	0,46	0,62
Сосна обыкновенная (Pinus sylvestris)	10,0	0,43	0,48	0,72
Самосев				
Тополь черный (Populus nigra)	0,3	—	0,27	0,46

Общее проективное покрытие в 2024 г. составило порядка 20 %, а в 2025 г. – 60 %. В зоне посева *Trifolium repens* (клевер ползучий) проективное покрытие составляет 90 – 95 %.



А



Б



В

Рисунок 6.52 – Фото участка № 2: А – 2023 г.; Б – 2024 г.; В – 2025 г.

После адаптации саженцев к новым условиям среды (2023 – 2024 гг.) наблюдается существенный годичный прирост около 15 – 20 см, а также с 2024

г. на участке фиксируется присутствие подроста (самосев) единичных экземпляров тополя черного (*Populus nigra*).

В год создания полигона было зафиксировано присутствие единичных или спорадично произрастающих экземпляров таких травянистых видов растений, как марь красная (*Chenopodium rubrum*), Melissa лекарственная (*Melissa officinalis*), подорожник большой (*Plantago major*), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*).

В 2025 г. (в сравнении с 2024 г.) наблюдаются изменения в растительном покрове данной площадки: общее проективное покрытие возросло с 20 до 60 %, в том числе в значительной степени благодаря посеву клевера ползучего (*Trifolium repens*). Увеличилось проективное покрытие таких видов, как мелколепестничек канадский (*Conyza canadensis*), бодяк обыкновенный (*Cirsium vulgare*), ячмень гривастый (*Hordeum jubatum*), иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium*), бодяк щетинистый (*Cirsium setosum*), латук татарский (*Lactuca tatarica*) и др. Количество видов не изменилось: в 2025 г. осталось столько же, как было в 2024 г. (29 видов). Однако изменился видовой состав: выпали из растительного сообщества восемь видов – скерда кровельная (*Crepis tectorum*), ежовник обыкновенный (*Echinochloa crus-galli*), спорыш птичий (*Polygonum aviculare*), марь белая (*Chenopodium album*), оксизазис сизый (*Oxybasis glauca*) и другие, последние три вида встречались в 2024 г. обильно. В 2025 г. впервые отмечены на участке восемь видов: трёхреберник непахучий (*Tripleurospermum inodorum*), кипрей волосистый (*Epilobium hirsutum*), крапива двудомная (*Urtica dioica*), клевер гибридный (*Trifolium hybridum*), пикульник двунадрезанный (*Galeopsis bifida*), латук татарский (*Lactuca tatarica*) и другие, последний встречается обильно, чем остальные.

Стоит заметить, что соотношение однолетних (включая двулетних) и многолетних видов также изменилось: в 2024 г. однолетних было 14 видов (48 %), а в 2025 г. составило 13 видов (45 %).

Сократилось и число сорных видов: в 2024 г. было зафиксировано 15 видов (52 %), а в 2025 г. – 14 видов (48 %).

Мониторинговая площадка № 3

Площадка с насаждениями ели обыкновенной (*Picea abies*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Субстрат образован четвертичными отложениями II категории. Почвенный покров – технозем литогенный 100 % (рисунок 6.53, таблица 6.9).

Таблица 6.9 – Древесный и кустарниковый ярусы

Название растения	Среднее количество на 100 м², ед.	Средняя высота, м		
		2023 г.	2024 г.	2025 г.
Высаженные				
Ель обыкновенная (Picea abies)	12,7	0,49	0,52	0,79
Сосна обыкновенная (Pinus sylvestris)	8,0	0,28	0,35	0,46
Самосев				
Ива козья (Salix caprea)	0,3	—	—	0,1
Ива (Salix sp.)	0,3	—	—	0,1

Общее проективное покрытие в 2024 г. составило порядка 20 %, а в 2025 г. – 55 %. В зоне посева клевера ползучего (*Trifolium repens*) проективное покрытие составляет 90 – 95 %.



А



Б



В

Рисунок 6.53 – Фото участка № 3: А – 2023 г.; Б – 2024 г.; В – 2025 г.

После адаптации саженцев к новым условиям среды (2023 – 2024 гг.) наблюдается существенный годичный прирост около 10 – 25 см, а также с 2025 г. на участке фиксируется присутствие подроста (самосев) единичных экземпляров нескольких видов рода ивы (*Salix*).

В год создания полигона было зафиксировано присутствие единичных или спорадично произрастающих экземпляров таких травянистых видов растений, как марь красная (*Chenopodium rubrum*), мелисса лекарственная (*Melissa officinalis*), подорожник большой (*Plantago major*), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*), яблоня ягодная (*Malus baccata*), крапива жгучая (*Urtica urens*), клевер ползучий (*Trifolium repens*), бодяк обыкновенный (*Cirsium vulgare*), мятлик однолетний (*Poa annua*), тополь черный (*Populus nigra*), малина обыкновенная (*Rubus idaeus*).

Обследование данного участка в 2025 г. показало ряд отличий по сравнению с 2024 г. Общее проективное покрытие возросло с 20 до 55 %, также в большей степени благодаря посеву клевера ползучего (*Trifolium repens*). Увеличились такие виды, как мелкопестничек канадский (*Conyza canadensis*), ячмень гривастый (*Hordeum jubatum*), мятлик луговой (*Poa pratensis*) и др. Количество их возросло с 31 до 37, при этом изменился видовой состав, а именно выпали из растительного сообщества следующие: дрёма белая (*Melandrium album*), чистотел большой (*Chelidonium majus*), кипрей железистостебельный (*Epilobium adenocaulon*), пикульник двунадрезанный

(*Galeopsis bifida*), оксизазис сизый (*Oxybasis glauca*) и другие, последние три вида встречались в 2024 г. достаточно обильно. В 2025 г. впервые отмечены на участке 13 видов: мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), донник жёлтый (*Melilotus officinalis*), донник белый (*Melilotus albus*), осока лесная (*Carex sylvatica*), кульбаба осенняя (*Scorzoneroide autumnalis*), горошек мышиный (*Vicia cracca*) и другие. Стоит заметить, что соотношение однолетних (включая двулетних) и многолетних видов также изменилось: в 2024 г. однолетних было 12 видов (39 %), а в 2025 г. составило 12 видов (32 %).

Отмечается сокращение числа сорных видов: в 2024 г. зафиксировано 14 видов (45 %), а в 2025 г. – 11 видов (30 %).

Мониторинговая площадка № 4

Площадка с насаждениями липы сердцевидной (*Tilia cordata*), пихты сибирской (*Abies sibirica*) и сосны сибирской, кедра (*Pinus sibirica*). Субстрат образован из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров – технозем литогенный 100 % (рисунок 6.54, таблица 6.10).

Таблица 6.10 – Древесный и кустарниковый ярусы

Название растения	Среднее количество на 100 м², ед.	Средняя высота, м		
		2023 г.	2024 г.	2025 г.
Высаженные				
Липа сердцевидная (Tilia cordata)	18,3	0,80	0,88	1,06
Пихта сибирская (Abies sibirica)	1,3	0,16	0,21	0,25
Сосна сибирская (Pinus sibirica)	1,0	0,11	0,07	0,08
Самосев				
Тополь черный (Populus nigra)	1,7	—	0,55	0,77

Общее проективное покрытие в 2024 г. составило порядка 25 %, а в 2025 г. – 60 %. В зоне посева *Trifolium repens* (клевер ползучий) проективное покрытие составляет 90 – 95 %.



А



Б



В

Рисунок 6.54 – Фото участка № 4: А – 2023 г.; Б – 2024 г.; В – 2025 г.

После адаптации саженцев к новым условиям среды (2023 – 2024 гг.) наблюдается существенный годичный прирост у липы сердцевидной (*Tilia cordata*) порядка 20 см, а у хвойных – пихты сибирской (*Abies sibirica*) и сосны сибирской (*Pinus sibirica*) прирост составляет от 1 до 4 см. Необходимо отметить, что снижение средней высоты у сосны сибирской (*Pinus sibirica*) в 2024 г. по сравнению с 2023 г. обусловлено гибелью некоторого количества более рослых экземпляров в первый год после посадки. Помимо прочего, с 2024 г. на участке фиксируется присутствие подроста (самосев) единичных экземпляров тополя черного (*Populus nigra*).

В год создания полигона было зафиксировано присутствие единичных или спорадично произрастающих экземпляров таких травянистых видов растений, как малина обыкновенная (*Rubus idaeus*), мелколепестник канадский (*Erigeron canadensis*), синюха голубая (*Polemonium caeruleum*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), мятлик однолетний (*Poa annua*), марь

красная (*Chenopodium rubrum*), тополь черный (*Populus nigrum*), мелисса лекарственная (*Melissa officinalis*), подорожник большой (*Plantago major*), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*). При обследовании участка в 2025 г. отмечается (в сравнении с 2024 г.) ряд следующих изменений. Общее проективное покрытие возросло с 25 до 60 %, в большей степени благодаря посеву клевера ползучего (*Trifolium repens*), помимо этого, увеличилось проективное покрытие таких видов, как бодяк щетинистый (*Cirsium setosum*), пырей ползучий (*Elytrigia repens*) и др. Значительно сократилось проективное покрытие мелколепестничека канадского (*Conyza canadensis*). Видовое разнообразие увеличилось с 28 до 36 видов, при этом значительно изменился его состав. Выпали из растительного сообщества шесть видов: оксизис сизый (*Oxybasis glauca*), щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus*), горец развесистый (*Persicaria lapathifolia*) и другие. В 2025 г. впервые отмечены на участке 14 видов: латук компасный (*Lactuca serriola*), ячмень гривастый (*Hordeum jubatum*), ситник скученный (*Juncus conglomeratus*), донник белый (*Melilotus albus*), бузина сибирская (*Sambucus sibirica*) и другие. Необходимо отметить, что соотношение однолетних (включая двулетних) и многолетних видов также изменилось: в 2024 г. однолетних было 10 видов (36 %), а в 2025 г. составило 10 видов (28 %).

Кроме того, сократилось число сорных видов: в 2024 г. было обнаружено 11 видов (39 %), а в 2025 г. – 12 видов (33 %).

Мониторинговая площадка № 5

Площадка с насаждениями липы сердцевидной (*Tilia cordata*), рябины сибирской (*Sorbus sibirica*), черемухи обыкновенной (*Padus avium*), калины обыкновенной (*Viburnum opulus*), осины обыкновенной (*Populus tremula*) и спиреи средней (*Spiraea media*). Субстрат состоит из четвертичных отложений II категории. Почвенный покров – технозем литогенный 100 % (рисунок 6.55, таблица 6.11).

Таблица 6.11 – Древесный и кустарниковый ярусы

Название растения	Среднее количество на 100 м², ед.	Средняя высота, м		
		2023 г.	2024 г.	2025 г.
Высаженные				
Липа сердцевидная (<i>Tilia cordata</i>)	13,3	0,78	0,87	1,11
Рябина сибирская (<i>Sorbus sibirica</i>)	1,0	0,64	0,57	0,65
Осина обыкновенная (<i>Populus tremula</i>)	1,7	0,21	0,31	0,71
Спирея средняя (<i>Spiraea media</i>)	1,7	0,25	0,22	0,34
Черемуха обыкновенная (<i>Padus avium</i>)	2,0	0,49	0,57	0,79
Калина обыкновенная (<i>Viburnum opulus</i>)	1,3	0,33	0,21	0,30
Самосев				
Тополь черный (<i>Populus nigra</i>)	2,3	0,40	0,95	1,41

Общее проективное покрытие в 2024 г. составило 25 %, а в 2025 г. – 65 %. В зоне посева *Trifolium repens* (клевер ползучий) проективное покрытие составляет 90 – 95 %.



А



Б



В

Рисунок 6.55 – Фото участка № 5: А – 2023 г.; Б – 2024 г.; В – 2025 г.

После адаптации саженцев к новым условиям среды (2023 – 2024 гг.) наблюдается существенный годичный прирост: у липы сердцевидной (*Tilia cordata*), осины обыкновенной (*Populus tremula*) и черёмухи обыкновенной (*Padus avium*) (22 – 40 см), а у остальных видов он варьирует от 8 до 12 см. Необходимо отметить, что снижение средней высоты у рябины сибирской (*Sorbus sibirica*), спиреи средней (*Spiraea media*) и калины обыкновенной (*Viburnum opulus*) в 2024 г. (по сравнению с 2023 годом) обусловлено гибелью некоторого количества более рослых экземпляров в первый год после посадки.

В год создания полигона было зафиксировано присутствие единичных или спорадично произрастающих экземпляров таких видов растений, как иван-чай узколистый (*Chamaenerion angustifolium*), подорожник большой (*Plantago major*), тополь черный (*Populus nigrum*), крапива двудомная (*Urtica dioica*), сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*), бодяк съедобный (*Cirsium esculentum*), звездчатка средняя (*Stellaria media*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), мятлик однолетний (*Poa annua*), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*), малина обыкновенная (*Rubus idaeus*).

В 2025 г., в сравнении с 2024 г., наблюдаются изменения в растительном покрове данной площадки, а именно общее проективное покрытие возросло с 25 до 65 %, также в большей степени благодаря посеву клевера ползучего (*Trifolium repens*). Проективное покрытие увеличилось у таких видов, как бодяк щетинистый (*Cirsium setosum*), осот полевой (*Sonchus arvensis*), трёхреберник непахучий (*Tripleurospermum inodorum*) и др. Количество видов изменилось незначительно, с 33 видов в 2024 г. до 36 видов в 2025 г. Вместе с тем, изменился видовой состав, а именно выпали из растительного сообщества шесть видов: ежовник обыкновенный (*Echinochloa crus-galli*), василисник малый (*Thalictrum minus*), оксибазис сизый (*Oxybasis glauca*), пикульник двунадрезанный (*Galeopsis bifida*) и другие. В 2025 г. впервые отмечены на участке девять видов: трёхреберник непахучий (*Tripleurospermum inodorum*),

клевер гибридный (*Trifolium hybridum*), льнянка обыкновенная (*Linaria vulgaris*), подмаренник северный (*Galium boreale*) и другие.

Стоит заметить, что соотношение однолетних (включая двулетних) и многолетних видов также изменилось: в 2024 г. однолетних было 11 видов (33 %), а в 2025 г. составило 9 видов (25 %).

Также сократилось число сорных видов: в 2024 г. было зафиксировано 13 видов (39 %), а в 2025 г. – 12 видов (33 %).

Мониторинговая площадка № 6

Площадка с насаждениями ели обыкновенной (*Picea abies*), пихты сибирской (*Abies sibirica*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Субстрат состоит из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров – технозем литогенный 100 % (рисунок 6.38, таблица 6.12).

Таблица 6.12– Древесный и кустарниковый ярусы

Название растения	Среднее количество на 100 м², ед.	Средняя высота, м		
		2023 г.	2024 г.	2025 г.
Высаженные				
Ель обыкновенная (Picea abies)	12,7	0,37	0,33	0,42
Pinus sylvestris (Сосна обыкновенная)	19,7	0,33	0,45	0,60
Пихта сибирская (Abies sibirica)	4,7	0,18	0,18	0,22
Самосев				
Ива (Salix sp.)	0,3	—	0,12	0,22

Общее проективное покрытие в 2024 г. составило порядка 20 %, а в 2025 г. – 70 %. В зоне посева клевера ползучего (*Trifolium repens*) проективное покрытие составляет 90 – 95 %.



А



Б



В

Рисунок 6.56 – Фото участка № 6: А – 2023 г.; Б – 2024 г.; В – 2025 г.

После адаптации саженцев к новым условиям среды (2023 – 2024 гг.) наблюдается существенный годичный прирост у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) порядка 15 см, а у прочих хвойных – пихты сибирской (*Abies sibirica*) и ели обыкновенной (*Picea abies*) прирост варьирует в пределах от 4 до 9 см. Необходимо отметить, что снижение средней высоты у ели обыкновенной (*Picea abies*) в 2024 г. обусловлено гибелью или вымерзанием верхушек у некоторого количества более рослых экземпляров в первый год после посадки. Помимо прочего, с 2024 г. на участке фиксируется присутствие подроста (самосев) единичных экземпляров ивы (*Salix sp.*).

В год создания полигона было зафиксировано присутствие единичных или спорадично произрастающих экземпляров таких видов травянистых растений, как одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), кочедыжник женский (*Athyrium filix-femina*), маршанция многообразная (*Marchantia*

polymorpha), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*), мятлик однолетний (*Poa annua*), житняк гребенчатый (*Agropyron cristatum*).

Обследование данного участка в 2025 г. показало ряд отличий по сравнению с 2024 г. Общее проективное покрытие возросло с 20 до 70 %, также в большей степени благодаря посеву клевера ползучего (*Trifolium repens*). Увеличилось проективное покрытие таких видов, как осока лесная (*Carex sylvatica*), ячмень гривастый (*Hordeum jubatum*), мятлик луговой (*Poa pratensis*) и др. Количество видов незначительно увеличилось (с 37 до 44 видов), при этом существенно изменился видовой состав: выпали из растительного сообщества 19 видов – дрёма белая (*Melandrium album*), кипрей железистостебельный (*Epilobium adenocaulon*), пикульник двунадрезанный (*Galeopsis bifida*), оксибазис сизый (*Oxybasis glauca*), крестовник сомнительный (*Senecio dubitabilis*), щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus*), щетинник зелёный (*Setaria viridis*) и другие. В 2025 г. впервые отмечены на участке 26 видов: кострец безостый (*Bromopsis inermis*), золотарник канадский (*Solidago canadensis*), осока лесная (*Carex sylvatica*), осока заячья (*Carex leporina*), купальница азиатская (*Trollius asiaticus*), дудник лесной (*Angelica sylvestris*), вечерница сибирская (*Hesperis sibirica*), курильский чай кустарниковый (*Dasiphora fruticosa*), рогоз широколистный (*Typha latifolia*) и другие. Стоит заметить, что соотношение однолетних (включая двулетних) и многолетних видов также изменилось: в 2024 г. однолетних было 19 видов (51 %), а в 2025 г. составило 12 видов (27 %).

Отмечается значительное сокращение числа сорных видов: в 2024 г. их было зафиксировано 19 видов (51 %), а в 2025 г. – 11 видов (25 %).

Мониторинговая площадка № 7

Площадка с насаждениями сосны сибирской, кедра (*Pinus sibirica*), пихты сибирской (*Abies sibirica*), лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) и ели обыкновенной (*Picea abies*). Субстрат сформирован из четвертичных

отложений II категории. Почвенный покров – технозем литогенный 100 % (рисунок 6.57, таблица 6.13).

Таблица 6.13 – Древесный и кустарниковый ярусы представлены:

Название растения	Среднее количество на 100 м², ед.	Средняя высота, м		
		2023 г.	2024 г.	2025 г.
Высаженные				
Сосна сибирская (Pinus sibirica)	0,7	0,12	0,08	0,10
Пихта сибирская (Abies sibirica)	13,7	0,18	0,22	0,26
Лиственница сибирская (Larix sibirica)	1,0	0,14	0,25	0,33
Ель обыкновенная (Picea abies)	0,3	—	0,12	0,16
Самосев				
—	—	—	—	—

Общее проективное покрытие в 2024 г. составило порядка 15 %, а в 2025 г. – 55 %. В зоне посева *Trifolium repens* (клевер ползучий) проективное покрытие составляет 90 – 95 %.



А



Б



В

Рисунок 6.57 – Фото участка № 7: А – 2023 г.; Б – 2024 г.; В – 2025 г.

После адаптации саженцев к новым условиям среды (2023 – 2024 гг.) наблюдается годичный прирост (от 2 до 8 см). Необходимо отметить, что снижение средней высоты у сосны сибирской, кедра (*Pinus sibirica*) в 2024 г. (по сравнению с 2023 г.) обусловлено гибелью или вымерзанием верхушек у некоторого количества более рослых экземпляров в первый год после посадки. Помимо прочего, в 2024 г. на участке были единично высажены саженцы ели обыкновенной (*Picea abies*).

В год создания полигона было зафиксировано присутствие единичных или спорадично произрастающих экземпляров таких растений, как маршанция многообразная (*Marchantia polymorpha*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*), бодяк съедобный (*Cirsium esculentum*), марь красная (*Chenopodium rubrum*), мятлик однолетний (*Poa annua*), пастушья сумка обыкновенная (*Capsella bursa-pastoris*), лапчатка распростертая (*Potentilla humifusa*).

При обследовании участка в 2025 г. отмечается, в сравнении с 2024 г., ряд следующих изменений. Общее проективное покрытие возросло с 15 до 55 %, в большей степени благодаря посеву клевера ползучего (*Trifolium repens*), помимо этого, увеличилось значительно проективное покрытие мелколепестничека канадского (*Conyza canadensis*). В то же время сократилось покрытие иван-чая узколистного (*Chamaenerion angustifolium*), мятлика лугового (*Poa pratensis*), одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*). Видовое разнообразие увеличилось с 33 до 40 видов, при этом изменился его состав: выпали из растительного сообщества 11 видов – оксибазис сизый (*Oxybasis glauca*), марь белая (*Chenopodium album*), пикульник двунадрезанный (*Galeopsis bifida*), горец развесистый (*Persicaria lapathifolia*), щетинник зелёный (*Setaria viridis*) и другие. В 2025 г. впервые отмечены на участке 18 видов: латук компасный (*Lactuca serriola*), горошек мышиный (*Vicia cracca*), яснотка белая (*Lamium album*), донник белый (*Melilotus albus*), бузина сибирская (*Sambucus sibirica*), ситник скученный (*Juncus conglomeratus*) и другие. Стоит отметить, что соотношение однолетних

(включая двулетних) и многолетних видов также изменилось: в 2024 г. однолетних было 18 видов (55 %), а в 2025 г. составило 14 видов (35 %).

Сократилось число сорных видов: в 2024 г. было обнаружено 16 видов (48 %), а в 2025 г. – 12 видов (30 %).

Мониторинговая площадка № 8

Участок лесной рекультивации с насаждениями сосны сибирской (*Pinus sibirica*), рябины сибирской (*Sorbus sibirica*), ели обыкновенная (*Picea abies*), караганы древовидной (*Caragana arborescens*), черемухи обыкновенной (*Padus avium*), калины обыкновенной (*Viburnum opulus*) и осины обыкновенной (*Populus tremula*). Субстрат представлен из смеси суглинков, глин и супесей с дресвой коренных пород и галькой различного размера. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров – технозем литогенный 100 % (рисунок 6.58, таблица 6.14).

Таблица 6.14– Древесный и кустарниковый ярусы

Название растения	Среднее количество на 100 м², ед.	Средняя высота, м		
		2023 г.	2024 г.	2025 г.
Высаженные				
Сосна сибирская (<i>Pinus sibirica</i>)	1,0	0,18	0,14	0,16
Рябина сибирская (<i>Sorbus sibirica</i>)	1,0	0,67	0,59	0,63
Ель обыкновенная (<i>Picea abies</i>)	10,7	0,36	0,35	0,47
Карагана древовидная (<i>Caragana arborescens</i>)	1,0	0,55	0,77	1,33
Черемуха обыкновенная (<i>Padus avium</i>))	3,0	0,48	0,79	0,89
Калина обыкновенная (<i>Viburnum opulus</i>)	3,7	0,28	0,26	0,29
Осина обыкновенная (<i>Populus tremula</i>)	0,7	0,39	0,17	0,34
Самосев				
Ива (<i>Salix</i> sp.)	0,3	–	–	0,1

Общее проективное покрытие в 2024 г. составило порядка 20 %, а в 2025 г. – 60 %. В зоне посева клевера ползучего (*Trifolium repens*) проективное покрытие составляет 90 – 95 %.



А



Б



В

Рисунок 6.58 – Фото участка № 8: А – 2023 г.; Б – 2024 г.; В – 2025 г.

После адаптации саженцев к новым условиям среды (2023 – 2024 гг.) наблюдается существенный годичный прирост у караганы древовидной (*Caragana arborescens*) и осины обыкновенной (*Populus tremula*) (20 – 50 см), а у остальных видов прирост варьирует в пределах от 2 до 12 см. Необходимо отметить, что снижение средней высоты у сосны сибирской (*Pinus sibirica*), рябины сибирской (*Sorbus sibirica*), ели обыкновенной (*Picea abies*), калины обыкновенной (*Viburnum opulus*) и осины обыкновенной (*Populus tremula*) (в 2024 г. по сравнению с 2023 г.) обусловлено гибелью или вымерзанием верхушек у некоторого количества более рослых экземпляров в первый год после посадки. Помимо прочего, с 2024 г. на участке фиксируется присутствие подроста (самосев) единичных экземпляров ивы (*Salix sp.*).

В год создания полигона было зафиксировано присутствие единичных или спорадично произрастающих экземпляров таких растений, как марь красная (*Chenopodium rubrum*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*), житняк

гребенчатый (*Agropyron cristatum*), мятлик однолетний (*Poa annua*), бодяк съедобный (*Cirsium esculentum*). В 2025 г., по сравнению с 2024 г., наблюдаются изменения в растительном покрове данной площадки, а именно общее проективное покрытие возросло с 20 до 60 %, также в большей степени благодаря посеву клевера ползучего (*Trifolium repens*). Проективное покрытие увеличилось у таких видов, как пырей ползучий (*Elytrigia repens*), мелкопестничек канадский (*Conyza canadensis*), трёхреберник непахучий (*Tripleurospermum inodorum*) и др. Количество видов изменилось существенно, с 25 видов в 2024 г. до 41 вида в 2025 г. Вместе с тем, изменился видовой состав, а именно выпали из растительного сообщества шесть видов: оксизизис сизый (*Oxybasis glauca*), гречишка вьюнковая (*Fallopia convolvulus*), крестовник сомнительный (*Senecio dubitabilis*), льнянка обыкновенная (*Linaria vulgaris*) и другие. Впервые отмечены на участке в 2025 г. 22 вида: чистец лесной (*Stachys sylvatica*), осот полевой (*Sonchus arvensis*), ячмень гривастый (*Hordeum jubatum*), кровохлёбка лекарственная (*Sanguisorba officinalis*), кипрей волосистый (*Epilobium hirsutum*), золотарник канадский (*Solidago canadensis*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), бор развесистый (*Milium effusum*), энотера красностебельная (*Oenothera rubricaulis*) и другие.

Стоит заметить, что соотношение однолетних (включая двулетних) и многолетних видов также изменилось, в 2024 г. однолетних было 10 видов (40 %), а в 2025 г. составило 13 видов (32 %).

Сократилось и число сорных видов, в 2024 г. было зафиксировано 13 видов (52 %), а в 2025 г. – 16 видов (39 %).

Мониторинговая площадка № 9

Участок лесной рекультивации с насаждениями березы пушистой (*Betula pubescens*), сосны сибирской (*Pinus sibirica*), рябины сибирской (*Sorbus sibirica*), караганы древовидной (*Caragana arborescens*) и черемухи обыкновенной (*Padus avium*). Субстрат представлен из смеси четвертичных оложений I категории (покровных суглинков) и плодородного слоя почвы

(ПСП). Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров – технозем недифференцированный гумусогенный 100 % (рисунок 6.59, таблица 6.15).

Таблица 6.15– Древесный и кустарниковый ярусы

Название растения	Среднее количество на 100 м², ед.	Средняя высота, м		
		2023 г.	2024 г.	2025 г.
Высаженные				
Береза пушистая (<i>Betula pubescens</i>)	13,7	0,59	0,86	1,39
Сосна сибирская (<i>Pinus sibirica</i>)	2,0	0,15	0,14	0,17
Рябина сибирская (<i>Sorbus sibirica</i>)	1,7	0,60	0,80	0,87
Карагана древовидная (<i>Caragana arborescens</i>)	1,3	0,62	0,63	1,11
Черемуха обыкновенная (<i>Padus avium</i>)	1,0	0,46	0,65	0,69
Самосев				
Ива (<i>Salix</i> sp.)	0,3	—	0,03	0,10

Общее проективное покрытие в 2024 г. составило порядка 10 %, а в 2025 г. – 75 %. В зоне посева клевера ползучего (*Trifolium repens*) проективное покрытие составляет 90 – 95%.



А



Б



В

Рисунок 6.59 – Фото участка № 9: А – 2023 г.; Б – 2024 г.; В – 2025 г.

После адаптации саженцев (в первый год после посадки) к новым условиям среды (2023 – 2024 гг.) наблюдается существенный годичный прирост у березы пушистой (*Betula pubescens*) и караганы древовидной (*Caragana arborescens*) (48 – 53 см), у остальных видов прирост варьируется в пределах от 3 до 7 см. А снижение средней высоты у сосны сибирской, кедра (*Pinus sibirica*) (в 2024 г. по сравнению с 2023 г.) обусловлено гибелью или вымерзанием верхушек у некоторого количества более рослых экземпляров. Помимо прочего, с 2024 г. на участке фиксируется присутствие подроста (самосев) единичных экземпляров ивы (*Salix sp.*).

В год создания полигона было зафиксировано присутствие единичных или спорадично произрастающих экземпляров таких растений, как марь красная (*Chenopodium rubrum*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*). Особо необходимо отметить, что на данном участке встречаются растения, привнесенные с грунтом, т.е. произрастающие от вегетативных частей (корневища, стволы и пр.) – кочедыжника женского (*Athyrium filix-femina*), вейника наземного (*Calamagrostis epigeios*), лабазника вязолистного (*Filipendula ulmaria*). Обследование данного участка в 2025 г. показало ряд отличий по сравнению с 2024 г. Общее проективное покрытие возросло с 10 до 75 %, в большей степени благодаря посеву клевера ползучего (*Trifolium repens*). Увеличилось и проективные покрытия таких видов, как мать-и-мачеха обыкновенная (*Tussilago farfara*), лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria*), бодяк щетинистый (*Cirsium setosum*), рогоз широколистный (*Typha latifolia*) и др. Количество видов очень сильно возросло (с 35 до 52 видов), при этом изменился видовой состав: выпали из растительного сообщества 11 видов – пастушья сумка обыкновенная (*Capsella bursa-pastoris*), щетинник зелёный (*Setaria viridis*), оксибазис сизый (*Oxybasis glauca*), крестовник сомнительный (*Senecio dubitabilis*), лисохвост равный (*Alopecurus aequalis*) и другие, последние три вида встречались в 2024 г. обильно. Впервые отмечены на участке в 2025 г. 29 видов: володушка золотистая (*Bupleurum longifolium* ssp.

aureum), вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*), дудник лесной (*Angelica sylvestris*), осока лесная (*Carex sylvatica*), осока заячья (*Carex leporina*), проломник нитевидный (*Androsace filiformis*), ситник членистый (*Juncus articulatus*), малина обыкновенная (*Rubus idaeus*), купальница азиатская (*Trollius asiaticus*), сушеница лесная (*Omalotheca sylvatica*), золотарник канадский (*Solidago canadensis*), лютик ползучий (*Ranunculus repens*) и другие. Стоит заметить, что соотношение однолетних (включая двулетних) и многолетних видов также изменилось, в 2024 г. однолетних было 12 видов (34 %), а в 2025 г. составило 14 видов (26 %).

Отмечается сокращение числа сорных видов, в 2024 г. их было зафиксировано 13 видов (37 %), а в 2025 г. – 8 видов (15 %).

Мониторинговая площадка № 10

Площадка с насаждениями сосны сибирской (*Pinus sibirica*), ели обыкновенной (*Picea abies*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Субстрат участка представлен техногенным элювием из аргиллитов и алевролитов. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров – эмбриозем инициальный 100 % (рисунок 6.60, таблица 6.16).

Таблица 6.16– Древесный и кустарниковый ярусы

Название растения	Среднее количество на 100 м ² , ед.	Средняя высота, м		
		2023 г.	2024 г.	2025 г.
Высаженные				
Сосна сибирская (Pinus sibirica)	1,0	0,19	0,15	0,16
Ель обыкновенная (Picea abies)	7,7	0,32	0,34	0,42
Сосна обыкновенная (Pinus sylvestris)	15,0	0,52	0,60	0,73
Самосев				
—	—	—	—	—

Общее проективное покрытие в 2024 г. составило порядка 1 %, а в 2025 г. – 2 %. В зоне посева клевера ползучего (*Trifolium repens*) проективное покрытие составляет 2 %.



А



Б



В

Рисунок 6.60 – Фото участка № 10: А – 2023 г.; Б – 2024 г.; В – 2025 г.

После адаптации к новым условиям среды высаженных растений (2023 – 2024 гг.) наблюдается годичный прирост, варьирующий в пределах 1 – 13 см. Необходимо отметить, что снижение средней высоты у сосны сибирской, кедра (*Pinus sibirica*) в 2024 г. по сравнению с 2023 г. обусловлено гибелью или вымерзанием верхушек некоторого количества более рослых экземпляров в первый год после посадки.

В год создания полигона было зафиксировано присутствие только одного вида растения в единичном экземпляре – одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*).

При обследовании участка в 2025 г. отмечается, по сравнению с 2024 г., ряд следующих изменений. Общее проективное покрытие возросло незначительно (с 1 до 2 %), в большей степени благодаря посеву клевера ползучего (*Trifolium repens*). Необходимо отметить, что на данном участке

травянистые растения преимущественно сосредоточены в основании высаженных деревьев. Видовое разнообразие увеличилось с 6 до 8 видов, при этом немного изменился его состав, а именно выпали из растительного сообщества семь видов: пикульник двунадрезанный (*Galeopsis bifida*), ежевник обыкновенный (*Echinochloa crus-galli*) и щетинник зелёный (*Setaria viridis*) и др. Впервые отмечены на участке в 2025 г. пять видов – донник жёлтый (*Melilotus officinalis*), осот полевой (*Sonchus arvensis*), латук компасный (*Lactuca serriola*), иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium*) и звездчатка злаковидная (*Stellaria graminea*). Стоит отметить, что соотношение однолетних (включая двулетних) и многолетних видов также изменилось, в 2024 г. однолетних было 4 вида (67 %), а в 2025 г. составило 3 вида (38 %). Также сократилось число сорных видов, в 2024 г. было зафиксировано 4 вида (67 %), а в 2025 г. – 3 вида (38 %).

Помимо геоботанических описаний, на каждом участке был проведен отбор зеленой фитомассы и мортмассы (подстилка + ветошь), результаты представлены на рисунке 6.61.

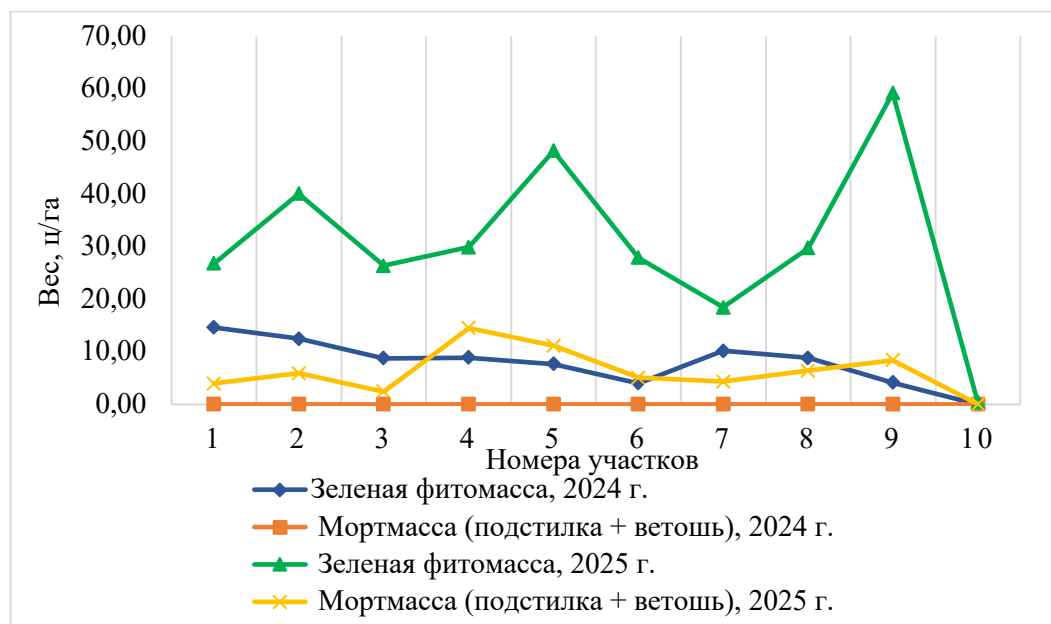


Рисунок 6.61 – Средние значения надземной продуктивности травянистого яруса (по фракциям – зеленая фитомасса и мортмасса) растительных сообществ на экспериментальных площадках за 2024 и 2025 гг., ц/га

Установлено, что в 2025 г., по сравнению с 2024 г., наблюдается существенное увеличение надземной продуктивности травянистого яруса, в среднем по всем участкам с 7,98 до 36,92 ц/га. В 2025 г. максимальные значения зафиксированы на девятом участке – 67,64 ц/га, а минимальные на десятом – 0,41 ц/га.

6.3.2 Анализ состояния растительного покрова на экспериментальных участках экологического полигона

Анализ результатов исследования показывает, что у большинства высаженных растений наблюдается в 2025 г. годичный прирост побегов, свидетельствующий об адаптации растений к новым условиям среды. Однако в период адаптации (первый год после посадки) в 2024 г. (по сравнению с 2023 г.) отмечается у некоторых видов незначительное снижение средней высоты, обусловленное гибелью некоторых экземпляров или вымерзанием верхушек некоторого количества более рослых экземпляров растений.

Помимо высаженных древесных и кустарниковых видов растений, за два года после проведения исследований на большинстве участков отмечается активная стадия восстановления растительного покрова. Проективное покрытие травянистыми растениями в среднем сменилось с <1 % (в 2023 г., в год создания полигона) до 10 – 25 % (в 2024 г.) и 55 – 75 % (в 2025 г.). Исключение составляет участок № 10, характеризующийся проективным покрытием в 2024 г. – не более 1 %, а в 2025 г. не более 2 %. В видовом разнообразии (рисунок 6.62) также отмечаются изменения: в 2023 г. оно варьировало от 3 до 11 видов растений, в 2024 г. – от 23 до 37, а в 2025 г. – от 27 до 53 видов, также исключением является участки № 10 (минимальное количество видов растений; возросло с 6 до 8) и 9 (максимальное количество видов растений; возросло с 35 до 52).

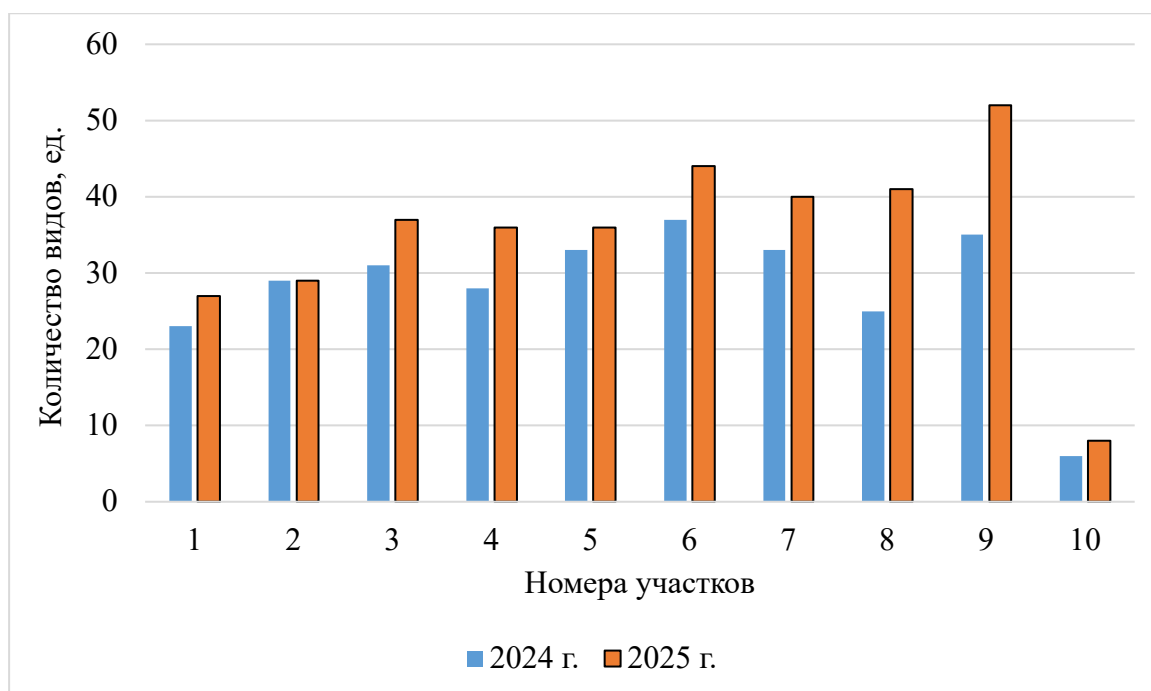


Рисунок 6.62 – Количество видов растений на участках по годам (2024 и 2025 гг.), в ед.

На первый взгляд можно увидеть, что видовое разнообразие существенно не изменилось, в большинстве случаев количество видов увеличилось несущественно, однако изменился сам видовой состав. На большинстве участков полностью или частично исчезли такие виды, как оксизис сизый (*Oxybasis glauca*), марь белая (*Chenopodium album*), рикунник двунадрезанный (*Galeopsis bifida*), горец развесистый (*Persicaria lapathifolia*) и др. На их место пришли новые: энотера красностебельная (*Oenothera rubricaulis*), осока лесная (*Carex sylvatica*), золотарник канадский (*Solidago canadensis*), кипрей волосистый (*Epilobium hirsutum*), клевер гибридный (*Trifolium hybridum*), горошек мышиный (*Vicia cracca*), ситник скученный (*Juncus conglomeratus*), кровохлёбка лекарственная (*Sanguisorba officinalis*), вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*), купальница азиатская (*Trollius asiaticus*) и прочие.

В свою очередь полученные данные свидетельствуют о том, что соотношение количества однолетних (включая двулетних) и многолетних видов также претерпевает колебания (рисунок 6.63). Доля однолетних видов в 2024 г. варьирует в пределах 33 – 67 % (среднее 45 %), а в 2025 г. – 25 – 45 %

(среднее 33 %). В 2025 г. наибольшие изменения наблюдаются на участках № 1, 6, 7 и 10 – 18, 24, 20 и 29 % соответственно.

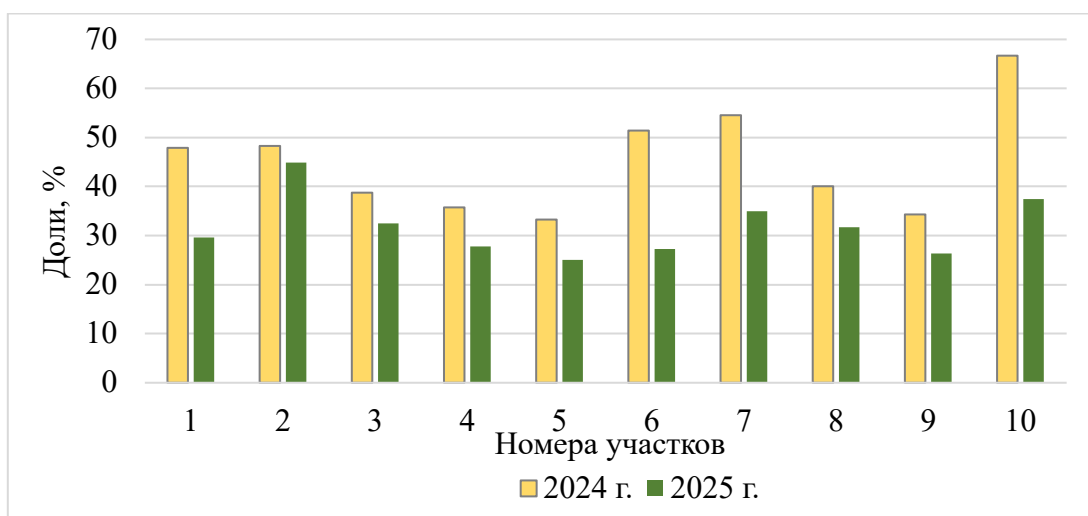


Рисунок 6.63 – Доля однолетних и двулетних видов растений на участках по годам (2024 и 2025 гг.), в %

Похожие изменения наблюдаются и в составе сорных видов растений (рисунок 6.64). Доля сорных видов варьирует в 2024 г. в пределах 37 – 67 % (среднее 48 %), а в 2025 г. – 15 – 48 % (среднее 33 %), при этом в 2025 г. наибольшее количество сорных видов, выпавших из растительного сообщества, фиксируется на участках № 6 – 16 %, № 9 – 22 % и № 10 – 22 %.

На основании вышеизложенного можно заключить, что на всех участках прослеживаются закономерные изменения растительного покрова, характерные для начальных стадий сукцессии. В частности, у всех высаженных растений отмечается годичный прирост побегов, фиксируется увеличение видового разнообразия, рост надземной фитомассы (хоть и не в значительных объемах, но формируется подстилка), в структуре растительного покрова наблюдается уменьшение доли однолетних, а также сорных видов растений.

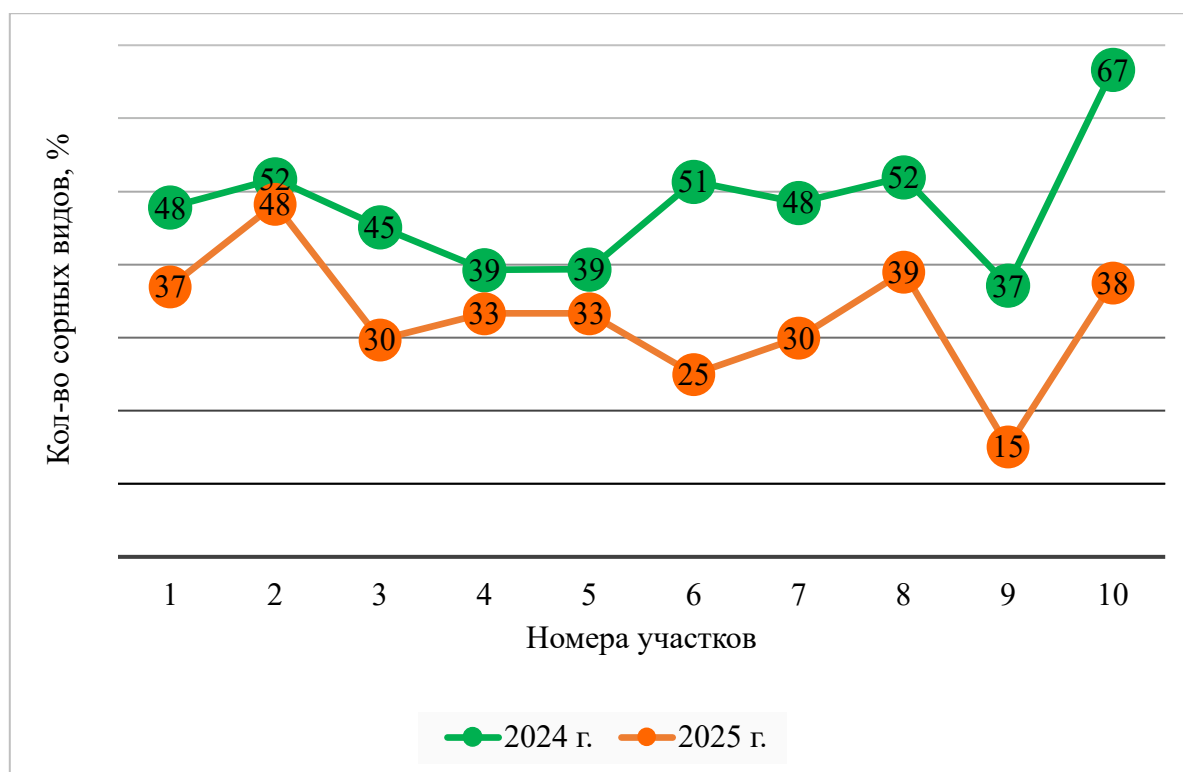


Рисунок 6.64 – Доля сорных видов растений на участках по годам (2024 и 2025 гг.), в %

Помимо прочего, обособленное положение занимает участок № 10, характеризующийся в 2025 г. очень низким видовым разнообразием (8 видов), малым проективным покрытием, не превышающим 2 %, и, как следствие, низкой надземной продуктивностью травянистого яруса – 0,41 ц/га. По сравнению с 2024 г., изменения особенно минимальны. Крайне противоположную позицию занимает участок № 9, характеризующийся наибольшим видовым разнообразием (52 вида), минимальной долей сорных видов (15 %), а также наибольшей зеленой фитомассой травянистого яруса (59,20 ц/га). Последнее обусловлено тем, что технозем гумусогенный недифференцированный сформирован из смеси суглинков и плодородного слоя почвы.

В результате регулярных обследований (2024 и 2025 гг.) десяти экспериментальных площадок экологического полигона посредством стандартного метода (метод геоботанических описаний) были составлены флористические списки по каждому году (высаженные деревья и кустарники

в списки не включали). Для их сравнения был использован коэффициент сходства Жаккара [154].

Коэффициент сходства Жаккара рассчитывается по формуле (6.1):

$$K_j = \frac{c}{a+b-c} \quad (6.1)$$

где c – число видов, общих для двух попарно сравниваемых площадок; a , b – числа видов на площадках.

Размах варьирования значений K_j от 0 (отсутствие сходства) до 1 (тождество сравниваемых участков).

В результате расчета значений коэффициента сходства Жаккара было получено две симметричные матрицы сходства (по данным 2024 и 2025 гг. соответственно), в которых отражены коэффициенты сходства для каждой пары сравниваемых участков (таблицы 6.17, 6.18).

Таблица 6.17 – Матрица значений коэффициента сходства Жаккара для сравниваемых экспериментальных площадок экологического полигона по видовому составу растительного покрова за 2024 г.

№ участков	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,00	0,44	0,46	0,38	0,40	0,40	0,47	0,37	0,35	0,16
2	0,44	1,00	0,54	0,54	0,55	0,50	0,48	0,46	0,39	0,13
3	0,46	0,54	1,00	0,55	0,73	0,42	0,45	0,44	0,35	0,12
4	0,38	0,54	0,55	1,00	0,56	0,44	0,45	0,39	0,34	0,10
5	0,40	0,55	0,73	0,56	1,00	0,37	0,40	0,45	0,39	0,15
6	0,40	0,50	0,42	0,44	0,37	1,00	0,43	0,44	0,44	0,16
7	0,47	0,48	0,45	0,45	0,40	0,43	1,00	0,45	0,39	0,15
8	0,37	0,46	0,44	0,39	0,45	0,44	0,45	1,00	0,50	0,15
9	0,35	0,39	0,35	0,34	0,39	0,44	0,39	0,50	1,00	0,14
10	0,16	0,13	0,12	0,10	0,15	0,16	0,15	0,15	0,14	1,00

Таблица 6.18 – Матрица значений коэффициента сходства Жаккара для сравниваемых экспериментальных площадок экологического полигона по видовому составу растительного покрова за 2025 г.

№ участков	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,00	0,47	0,45	0,40	0,43	0,37	0,46	0,45	0,30	0,21
2	0,47	1,00	0,40	0,41	0,48	0,26	0,33	0,43	0,33	0,19
3	0,45	0,40	1,00	0,49	0,52	0,40	0,51	0,44	0,33	0,18
4	0,40	0,41	0,49	1,00	0,57	0,33	0,55	0,38	0,38	0,19
5	0,43	0,48	0,52	0,57	1,00	0,31	0,43	0,43	0,38	0,16
6	0,37	0,26	0,40	0,33	0,31	1,00	0,42	0,47	0,52	0,13
7	0,46	0,33	0,51	0,55	0,43	0,42	1,00	0,47	0,39	0,20
8	0,45	0,43	0,44	0,38	0,43	0,47	0,47	1,00	0,52	0,14
9	0,30	0,33	0,33	0,38	0,38	0,52	0,39	0,52	1,00	0,11
10	0,21	0,19	0,18	0,19	0,16	0,13	0,20	0,14	0,11	1,00

На основе полученных матриц с использованием программы Statistica 6 for Windows были построены дендриты сходства исследованных участков по годам (рисунки 6.65, 6.66).

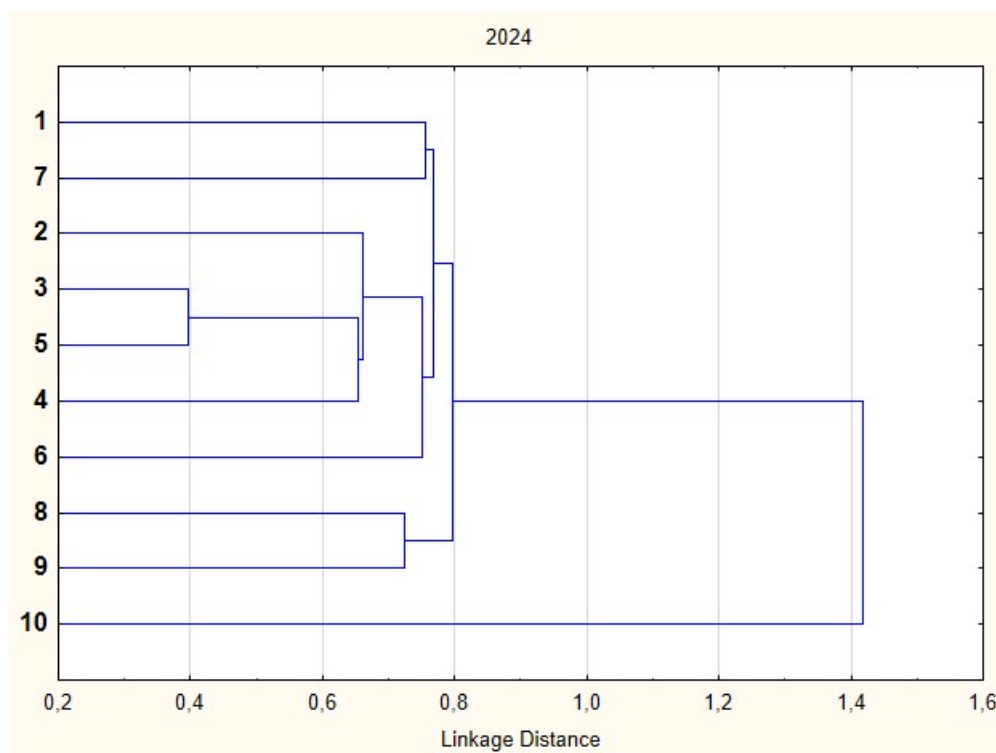


Рисунок 6.65 – Сходство исследованных участков по видовому составу растительности по рассчитанным значениям коэффициента Жаккара за 2024 г. (с 1 по 10 – номера участков, на которых выполнены геоботанические описания)

Расчёт коэффициентов сходства Жаккара по видовому составу растительного покрова за 2024 г. (рисунок 6.47) показал, что исследуемые сообщества разделились на два основных кластера – обособленно стоящий участок № 10 и остальные участки (№№ 1 – 9), коэффициент сходства между которыми колеблется в пределах от 0,12 до 0,16, что в среднем составляет около 0,14.

Участок № 10 характеризуется малым видовым разнообразием (6 видов) и низким общим проективным покрытием (менее 1 %), что, по всей видимости, обусловлено качественным составом эмбриоземов, который сложен из смеси вскрышных и вмещающих пород, содержание в почвенном профиле мелкозема составляет менее 10 %, а в поверхностном слое (0 – 5 см) не более 5 %, содержание фракции физической глины в аналогичном слое составляет 0,63 % от общей массы почвенного образца. Кроме того, высокая каменистость и темно-серый цвет способствует значительному нагреву поверхности молодых почв, что приводит к иссушению почв, особенно в поверхностных слоях, и повышению ксероморфизма почв.

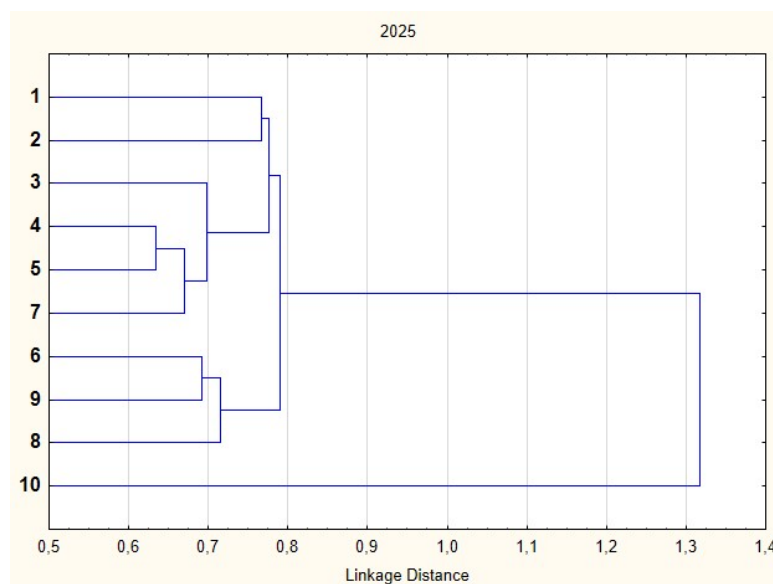


Рисунок 6.66 – Сходство исследованных участков по видовому составу растительности по рассчитанным значениям коэффициента Жаккара за 2025 г. (с 1 по 10 – номера участков, на которых выполнены геоботанические описания)

Второй кластер, включающий прочие участки (№№ 1 – 9), характеризуются достаточно высоким видовым разнообразием (варьирует от 23 до 37 видов) и более высоким общим проективным покрытием (варьирует от 10 до 25 %). Субстрат на этих участках представлен техноземом гумусогенным недифференцированным, сложенным из смеси плодородного слоя почвы и четвертичных отложений I категории (покровные суглинки) и техноземов литогенных из четвертичных отложений II категории. Содержание мелкозема варьирует в интервале от 12 до 39 %. Коэффициент сходства между этими участками весьма велик и изменяется в интервале от 0,34 до 0,73 (в среднем 0,45). При более детальном анализе флористических списков, участков, вошедших в данный кластер, не удастся выявить каких-либо закономерных различий между группами, так как в первый год после посадки растений участки сплошь заселяются сорными видами, большая часть из которых являются одно- или двулетниками.

Расчёт коэффициентов сходства Жаккара по видовому составу растительного покрова за 2025 г. (рисунок 6.66) показал, что исследуемые сообщества также разделились на два основных кластера, обособленно стоящий участок № 10 и остальные участки (№№ 1 – 9), однако коэффициент сходства между которыми несколько увеличился, он колеблется в пределах от 0,11 до 0,21, что в среднем составляет около 0,17.

Участок № 10 в 2025 г. характеризуется малым видовым разнообразием (8 видов) и низким общим проективным покрытием (менее 2 %).

Второй кластер, объединяющий участки с 1 по 9, характеризуется, по данным 2025 г., большим видовым разнообразием, которое по сравнению с 2024 г. существенно возросло (варьирует в пределах 27 – 52 видов), равно как и увеличилось общее проективное покрытие (варьирует в пределах 55 – 75 %). Коэффициент сходства между этими участками данного кластера изменяется в интервале от 0,26 до 0,57 (в среднем 0,42), по сравнению с 2024 г., несколько ниже. Это обусловлено уменьшением доли сорных видов (в среднем с 48 % в 2024 г. до 33 % в 2025 г.) и состава однолетних (в среднем с 45 % в 2024 г. до

33 % в 2025 г.). Вместе с тем, данный кластер подразделяется на три группы: первая группа связывает участки №№ 6, 9 и 8; вторая группа – №№ 1 и 2; третья группа – №№ 3, 4, 5 и 7.

Первая группа, объединяющая участки 6, 9 и 8, отличается очень высоким видовым разнообразием (41 – 52 вида), представлена техноземом гумусогенным недифференцированным сложенным из смеси плодородного слоя почвы и четвертичных отложений I категории (покровные суглинки) и техноземов литогенных из четвертичных отложений II категории. Содержание мелкозема в поверхностных слоях почв варьирует в интервале от 29 до 59 %. Содержание фракции физической глины и плотности сложения в аналогичном слое изменяется от 7,41 до 22,98 % от общей массы субстрата и 1,23 до 1,62 соответственно. Запасы доступной влаги для растений в слое 0 – 20 см составляют от 41,3 до 59,2 мм. Кроме того, на этих участках среднее содержание органического вещества и общего азота в поверхностном слое (0 – 5 см) выше и составляет от 1,22 до 2,00 % и 0,11 до 0,15 % соответственно, особенно в техноземе гумусогенном недифференцированном. Более благоприятные физические и агрохимические свойства почв привели к тому, что коэффициент сходства в первой группе в среднем равен 0,41.

Вторая группа (участки 1 и 2) обладает наименьшим видовым разнообразием данного кластера (27 – 29 видов), коэффициент сходства которых равен в среднем 0,40.

Третья группа связывает участки № 3, 4, 5 и 7, которые по видовому разнообразию занимают промежуточное положение (36 – 40 видов), и их коэффициент сходства в среднем составляет 0,44.

Содержание мелкозема на участках, вошедших во вторую и третью группы в поверхностном слое, составляет от 7,47 до 63,00 %; содержание фракции физической глины и плотности сложения в аналогичном слое изменяется от 5,65 до 24,83 % от общей массы субстрата и 1,49 до 1,64 соответственно. Запасы доступной влаги для растений в слое 0 – 20 см составляют от 35,3 до 44,8 мм. Поэтому различить эти две группы между собой

не удастся, по крайней мере, на данном этапе восстановления растительного покрова.

Таким образом, можно заключить, что фитоценозы на экспериментальных площадках экологического полигона в настоящее время претерпевают начальную стадию сукцессии. При этом уже на второй год после создания искусственных почв (техноземов и посадки растений) наблюдается слабая дифференциация площадок по видовому составу растений (без учета высаженных древесных и кустарниковых растений), обусловленная на данном этапе сукцессии в большей степени физическими и агрохимическими свойствами состава техноземов.

6.3.3 Количественное определение объемов поглощения парниковых газов на экспериментальных площадках экологического полигона

Определение запасов углерода в надземной и подземной биомассе древостоя и подроста

Для оценки запасов биомассы древостоя проводился учет древостоя, саженцев и подроста древесных видов, появившегося в результате естественного возобновления.

Согласно Методике, к древостою относятся деревья с диаметром стволов на высоте 1,3 м более 8 см. К подросту относят молодые деревья с диаметром ствола на высоте 1,3 м менее 8 см [150].

При учете фиксировались такие параметры как порода, высота, для древостоя – диаметр ствола на высоте 1,3 м. Самосев возрастом 1 – 2 года не учитывался.

Количество углерода в пуле биомассы древостоя рассчитывается для каждой древесной породы по формуле (6.2):

$$C_{\text{биомасса}} = 0,5 \sum (a(d_j^2 h_i)^b) \quad (6.2)$$

где:

$C_{\text{биомасса}}$ – углерод в биомассе древостоя, кг абсолютно сухого веса;

0,5 – коэффициент пересчета биомассы в углеродные единицы;

d_i – диаметр ствола i на высоте 1,3 м, см;

h_i – высота дерева i , м;

a и b – коэффициенты аллометрического уравнения для разных фракций и древесных пород (значения представлены в Методике).

Расчет количества углерода в надземной биомассе для каждого вида подроста и подлеска осуществляется по формуле (6.3):

$$C_{\text{надз.биомасса}} = 0,5 \sum (ah_i^b) \quad (6.3)$$

где:

$C_{\text{надз.биомасса}}$ – количество углерода в надземной биомассе подроста/подлеска, кг;

0,5 – коэффициент пересчета биомассы в углеродные единицы;

h_i – высота стволов подроста деревьев/кустарников, м;

a и b – коэффициенты аллометрического уравнения для надземной биомассы (значения представлены в работе [150]).

Для оценки запасов углерода в подземной биомассе древостоя или подроста используется соотношение надземной биомассы к подземной биомассе, которое принимается равным 0,39 (при запасе надземной биомассы менее 75 т/га) или 0,24 (при запасе надземной биомассы более 75 т/га).

Важно подчеркнуть, что при расчетах запаса углерода в надземной и подземной фитомассе древостоя и подроста не учитывались такие виды, как лиственница сибирская (*Larix sibirica*), тополь черный (*Populus nigra*), сосна сибирская (*Pinus sibirica*), липа сердцевидная (*Tilia cordata*), пихта сибирская (*Abies sibirica*), спирея средняя (*Spiraea media*), ива (*Salix* sp.), карагана древовидная (*Caragana arborescens*), потому что в Методике отсутствуют коэффициенты для этих видов.

Результаты расчета запаса углерода в надземной и подземной фитомассе древостоя и подроста по годам представлены на рисунках 6.67 и 6.68.

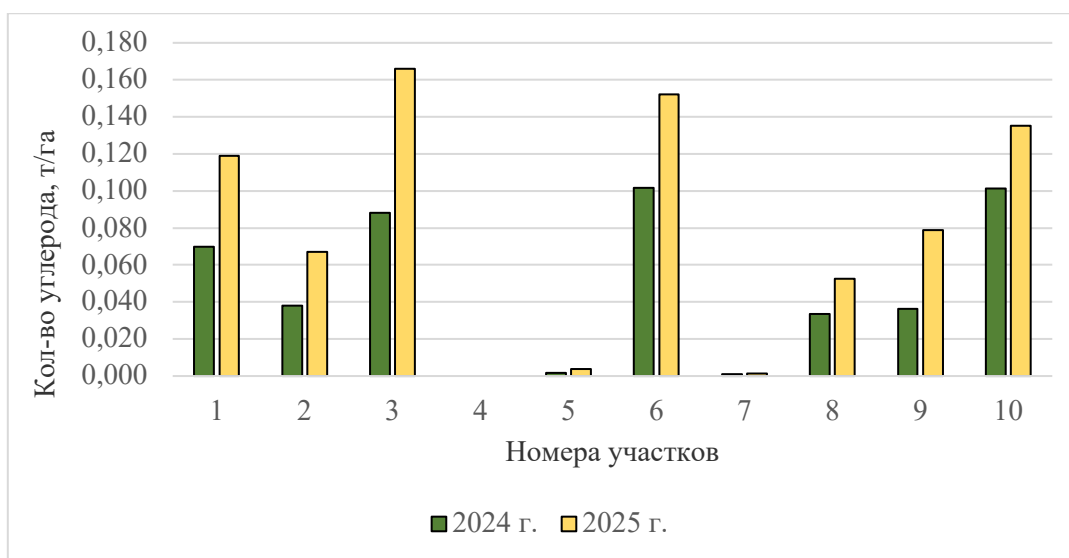


Рисунок 6.67 – Динамика количества углерода в надземной фитомассе древостоя и подроста на исследованных участках по годам, т/га

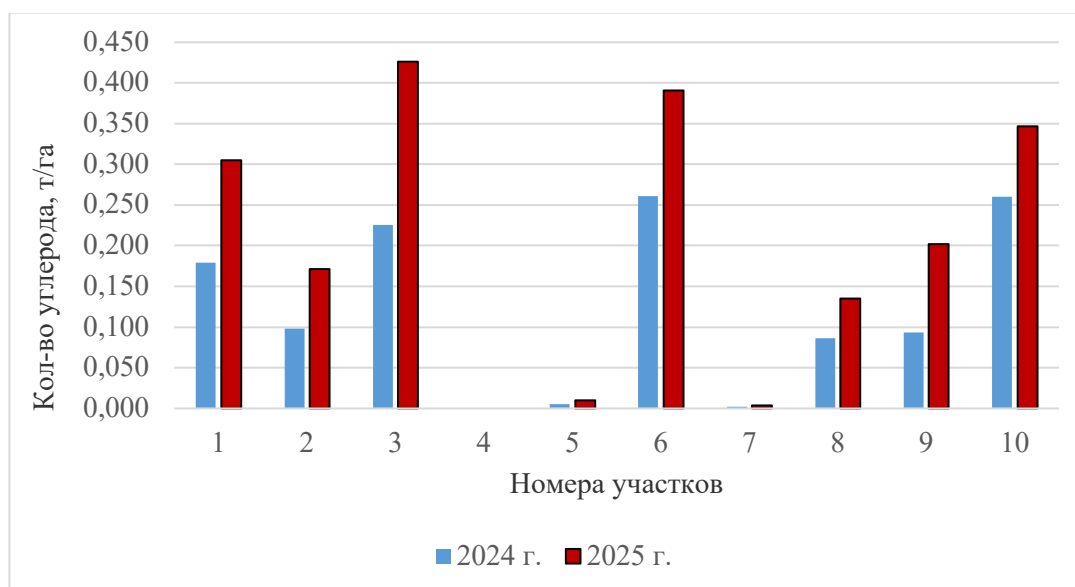


Рисунок 6.68 – Динамика количества углерода в подземной фитомассе древостоя и подроста на исследованных участках по годам, т/га

За период с 2024 по 2025 гг. количество углерода в надземной и подземной фитомассе древостоя и подроста на исследованных участках значительно выросло. Итак, в 2024 г. надземная фитомасса древостоя и подроста варьирует в интервале с 0,034 до 0,102 т/га, подземная – с 0,086 до 0,261 т/га, а в 2025 г. надземная – с 0,053 до 0,166 т/га, подземная – с 0,135 до 0,426 т/га. Необходимо отметить, что в данных значениях полностью отсутствуют результаты расчетов по участку № 4, частично представлены

остальные участки (исключение участок № 3), так как на этих участках встречаются виды, для которых отсутствуют коэффициенты, необходимые для расчетов, о чем говорилось чуть ранее.

Определение запасов углерода в надземной и подземной биомассе травянистой растительности

Для оценки запасов углерода в надземной биомассе травянистой растительности проводился отбор проб на площади 50×50 см в 3-х кратной повторности в пределах каждой пробной площади. Образцы травянистой растительности высушивались до абсолютно сухого состояния и взвешивались [150].

Расчет запаса углерода в пуле надземной травянистой биомассы проводился путем умножения абсолютного сухого веса пробы на среднее содержание углерода, которое принимается равным 50 %. Расчет запаса углерода в травянистой биомассе с учетом надземной и подземной частей проводился по формулам (6.4), (6.5) и (6.6) [150].

$$C_{\text{биомасса}} = C_{\text{надз.биомасса}} + C_{\text{подз.биомасса}}; \quad (6.4)$$

$$C_{\text{надз.биомасса}} = \text{Вес} \times 0,04 \times 0,5; \quad (6.5)$$

$$C_{\text{подз.биомасса}} = [a \times (C_{\text{надз.биомасса}} \times 20) + b] \times \frac{0,45}{1}, \quad (6.6)$$

где

$C_{\text{биомасса}}$ – запас углерода в пуле биомассы на рекультивированных землях, т С га⁻¹;

$C_{\text{надз.биомасса}}$ – запас углерода в надземной биомассе, т С га⁻¹;

$C_{\text{подз.биомасса}}$ – запас углерода в подземной биомассе, т С га⁻¹;

Вес – средний вес отобранных образцов травянистой биомассы с площади 50×50 см, г;

0,04 и 10 – коэффициенты для перевода в единицы запаса тонн на гектар, не имеет размерности;

0,5 и 0,45 – коэффициенты для перевода в единицы углерода массу надземной части биомассы и корней, не имеет размерности;

20 – пересчетный коэффициент, не имеет размерности;

a и b – пересчетные коэффициенты: при значении $C_{\text{надз.биомасса}}$ более 1,75 т С га⁻¹ значения a и b принимаются равными 1 и 15; при значении $C_{\text{надз.биомасса}}$ менее 1,75 т С га⁻¹ значения a и b принимаются равными 0,8 и 11.

Результаты расчета запаса углерода в надземной и подземной биомассе травянистой растительности по годам представлены на рисунках 6.69 и 6.70.

За период с 2024 по 2025 гг. количество углерода в надземной и подземной фитомассе травянистой растительности на исследованных участках значительно возросло. Таким образом, в 2024 г. надземная фитомасса травянистой растительности варьирует в интервале с 0 (участок № 10) до 0,731 т/га (участок № 1), подземная – с 0,495 (участок № 10) до 1,022 т/га (участок № 1), а в 2025 г. надземная – с 0,019 (участок № 10) до 2,960 т/га (участок № 9), подземная – с 0,508 (участок № 10) до 2,626 т/га (участок № 9). В частности, значительный прирост количества углерода как в надземной, так и в подземной фитомассе травянистой растительности наблюдается на участках №№ 9, 5 и 2, а наименьший – на участке № 10.

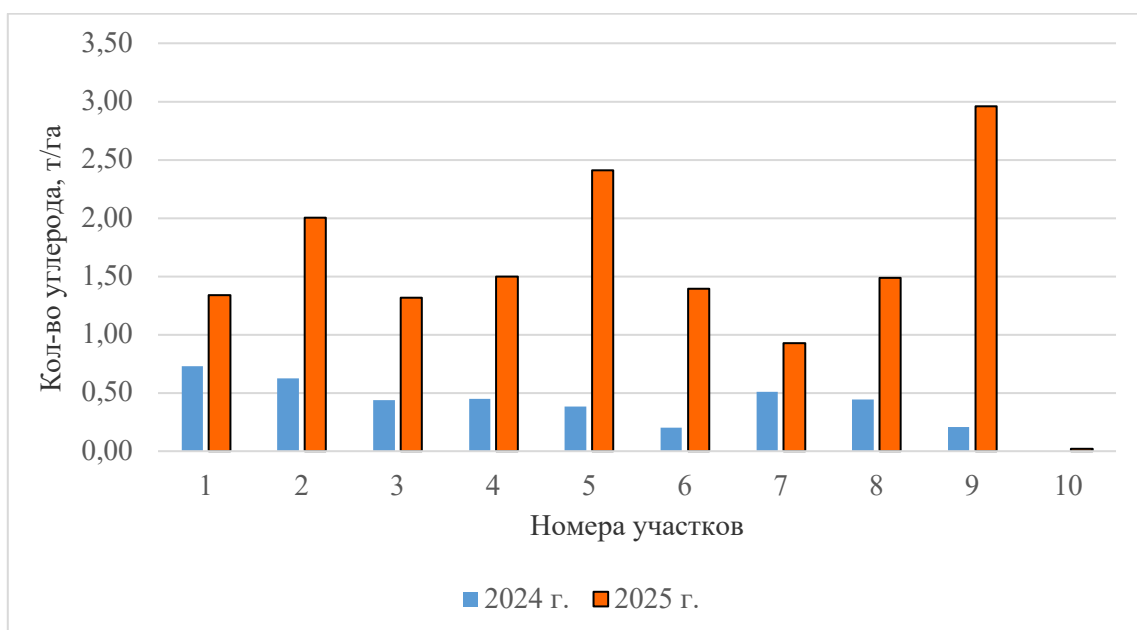


Рисунок 6.69 – Динамика количества углерода в надземной фитомассе травянистой растительности на исследованных участках по годам, т/га

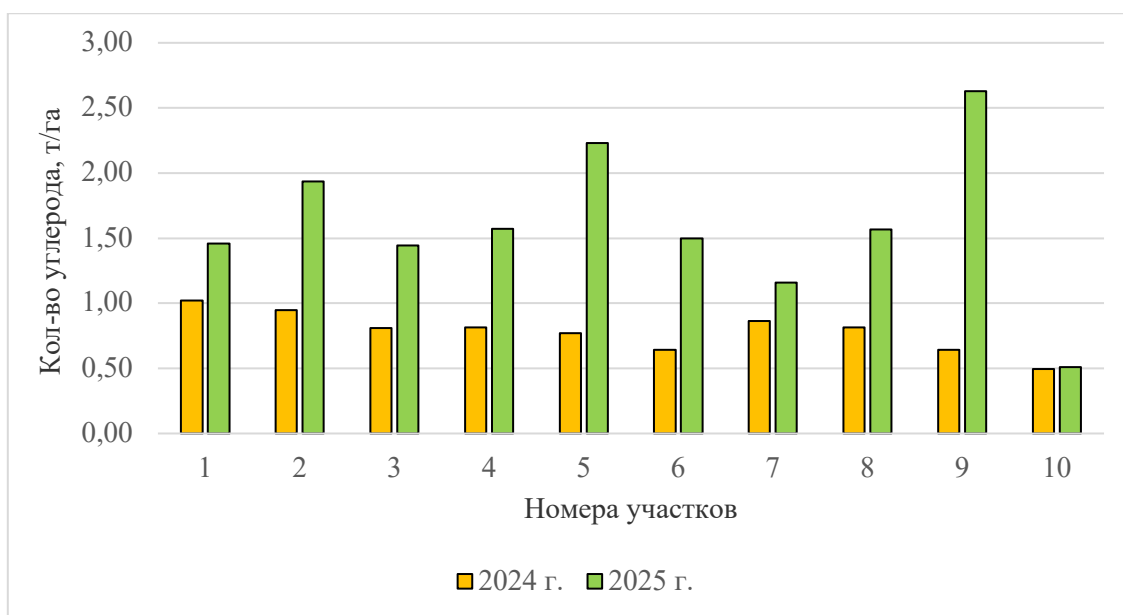


Рисунок 6.70 – Динамика количества углерода в подземной фитомассе травянистой растительности на исследованных участках по годам, т/га

Определение запасов углерода в пулах подстилки и почвы

Для выполнения репрезентативных измерений динамики запасов углерода в пуле почв осуществлялся отбор проб подстилки на площадках 50 × 50 см в 3-х кратной повторности в пределах каждой пробной площади. Образцы подстилки высушивались до абсолютно сухого состояния (нулевая влажность) и взвешивались. Расчет запаса углерода в пуле подстилки проводился путем умножения абсолютного сухого веса пробы на среднее содержание углерода, которые принимается равным 0,4 [150].

Содержание углерода в органическом веществе почв принимается равным 58 %. Пересчет на запас углерода почвы производился с учетом объемной массы почвы (г/см⁻³) по формуле (6.7), представленной в методике Минприроды России от 27.05.2022 г. № 371 («Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов»):

$$C_{\text{почва}} = \text{Орг. \%} \times H \times \text{Общ. масса} \times \frac{58}{100} \quad (6.7)$$

где

$C_{\text{почва}}$ – запас углерода в пуле почвы на землях, предназначенных для лесовосстановления, т С га⁻¹;

Орг.% – содержание органического вещества в смешанном почвенном образце, %;

H – глубина отбора проб почвы (например, 20 – при отборе до 20 см и 30 – при отборе до 30 см и так далее), см;

Общ._{масса} – объемная масса почвы, г/см³;

58/100 – коэффициент для перевода в единицы углерода.

Результаты расчета запаса углерода в пулах подстилки и почвы по годам представлены на рисунках 6.71 и 6.72.

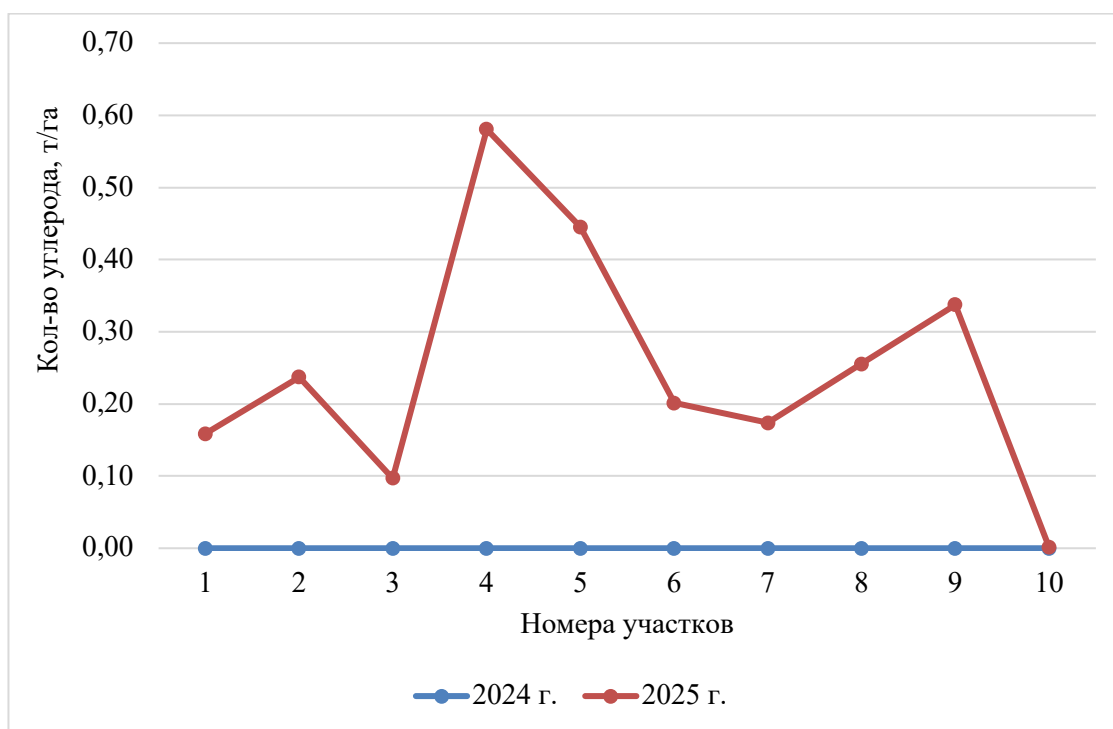


Рисунок 6.71 – Динамика количества углерода в подстилке на исследованных участках по годам, т/га

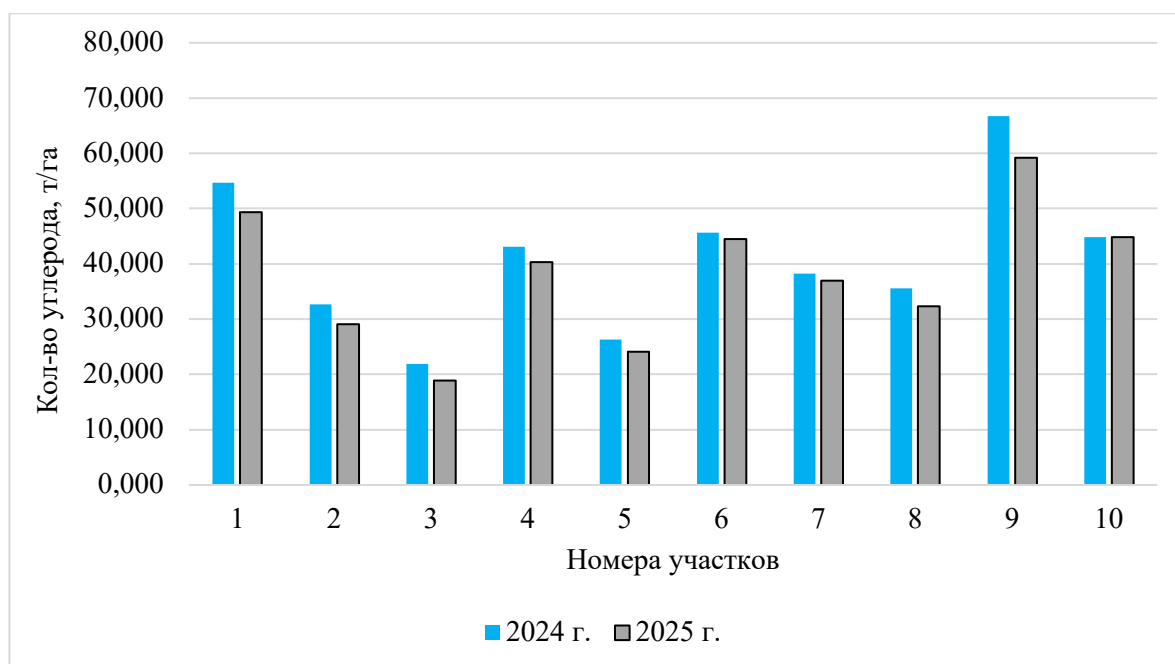


Рисунок 6.72 – Динамика количества углерода в почве на исследованных участках по годам, т/га

За период с 2024 по 2025 гг. количество углерода в пуле подстилки на исследованных участках также возросло. Так, 2024 г. подстилка еще отсутствовала, а в 2025 г. наблюдаются признаки ее появления, что отражается в динамике количества углерода. В частности, в 2025 г. минимальные значения количества углерода в подстилке отмечаются на участке № 10 (0,002 т/га), а максимальные – № 4 (0,580 т/га), 5 (0,445 т/га) и 9 (0,337 т/га).

В результате расчета количества углерода в пуле почвы наблюдается несколько иная картина, а именно количество углерода в 2025 г. несколько меньше по сравнению с 2024 г. Так, в 2024 г. количество углерода в пуле почвы варьирует в интервале с 21,882 (участок № 3) до 66,714 т/га (участок № 9), в среднем 40,956 т/га, а в 2025 г. – с 18,847 (участок № 3) до 59,231 т/га (участок № 9), в среднем 37,970 т/га. Сокращение количества углерода в пуле почвы можно объяснить активной трансформацией твердой фазы почвы за счет физического выветривания и активного развития растительного покрова на поверхности техноземов, отмечается заметное снижение плотности сложения почв в поверхностных слоях, что влияет на уменьшение запасов при расчетах содержания органического вещества. Необходимо отметить, что на участке №

10, по сравнению с другими участками, количество углерода в пуле почвы не изменилось и составило 44,878 т/га как в 2024 г., так и в 2025 г., а наибольшее сокращение наблюдается на участке № 9 – с 66,714 до 59,231 т/га (минус 7,48 т/га).

Оценка запасов углерода на экспериментальных площадках экологического полигона

В результате оценки запасов углерода в пуле биомассы растений (включая надземную и подземную древесную биомассу, надземную и подземную биомассу травянистой растительности, подстилки), установлено (рисунок 6.75), что на всех исследованных участках количество углерода в 2025 г., по сравнению с 2024 г., значительно выросло, в среднем 1,349 т/га в 2024 г. до 3,412 т/га в 2025 г. Максимальные значения имеют участки №№ 9 (6,204 т/га), 5 (5,099 т/га) и 2 (4,415 т/га), а минимальные – участки №№ 10 (1,011 т/га) и 7 (2,264 т/га).

Необходимо отметить, что максимальный вклад в данный показатель вносят, на данный момент времени, пулы надземной и подземной биомассы травянистой растительности. В наименьшей степени представлено участие надземной и подземной древесной биомассы по нескольким причинам. Во-первых, прошло еще мало времени с момента их высадки, растения еще адаптируются к новым условиям среды. Кроме того, они еще достаточно маленькие и удельный их вес небольшой. Предложенная Методика расчета не позволяет в настоящее время оценить вклад всех высаженных растений, в связи с отсутствием расчетных коэффициентов по значительному количеству видов [150].

На основании многолетних результатов исследований прироста биомассы растений получены уникальные и актуальные данные по тем видам растений, которые не используют в проектах рекультивации земель при выполнении биологического этапа (рисунки 6.73 и 6,74). В основном для выполнения биологического этапа рекультивации в горно-таежной подзоне Кузбасса

используют такую культуры, как сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*). Между тем, результаты исследований показывают возможность существенно расширить видовое разнообразие растений, соответствующее естественным, ненарушенным территориям.

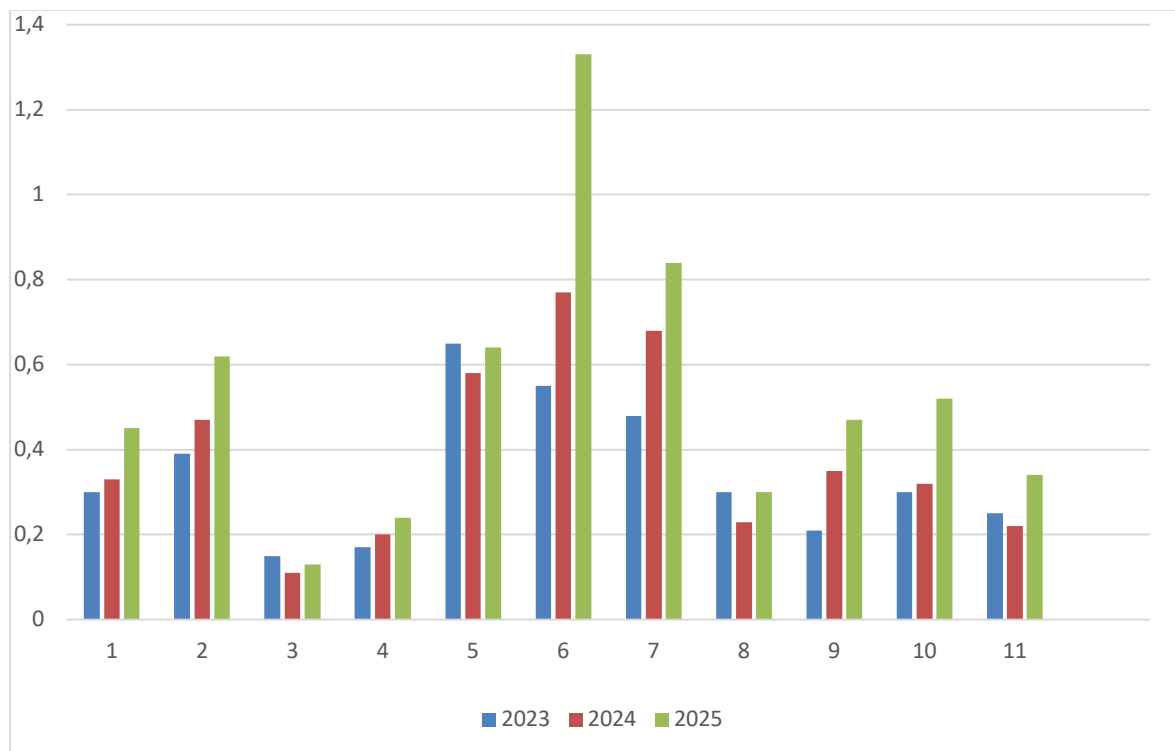


Рисунок 6.73 – Динамика прироста лесных культур (от среднего* количества на 100 м², ед. (ср. знач.)) разных видов растений на четвертичных отложениях II категории

1 – ель обыкновенная (*Picea abies*); 2 – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*); 3 – сосна сибирская (*Pinus sibirica*); 4 – пихта сибирская (*Abies sibirica*); 5 – рябина сибирская (*Sorbus sibirica*); 6 – карагана древовидная (*Caragana arborescens*); 7 – черемуха обыкновенная (*Padus avium*); 8 – калина обыкновенная (*Viburnum opulus*); 9 – лиственница сибирская (*Larix sibirica*); 10 – осина обыкновенная (*Populus tremula*); 11 – спирея средняя (*Spiraea media*)

Так, на техноземах литогенных, сформированных из четвертичных отложений II категории, практически все виды растений показывают увеличения прироста биомассы, особенно сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), карагана древовидная (*Caragana arborescens*), черемуха

обыкновенная (*Padus avium*), лиственница сибирская (*Larix sibirica*), осина обыкновенная (*Populus tremula*), спирея средняя (*Spiraea media*) и ель обыкновенная (*Picea abies*).

На техноземах гумусогенных недифференцированных, сформированных из смеси плодородного слоя почвы и четвертичных отложений I категории, также практически все виды растений показывают увеличения прироста биомассы, особенно рябина сибирская (*Sorbus sibirica*), карагана древовидная (*Caragana arborescens*), береза повислая (*Betula pubescens*), ель обыкновенная (*Picea abies*).

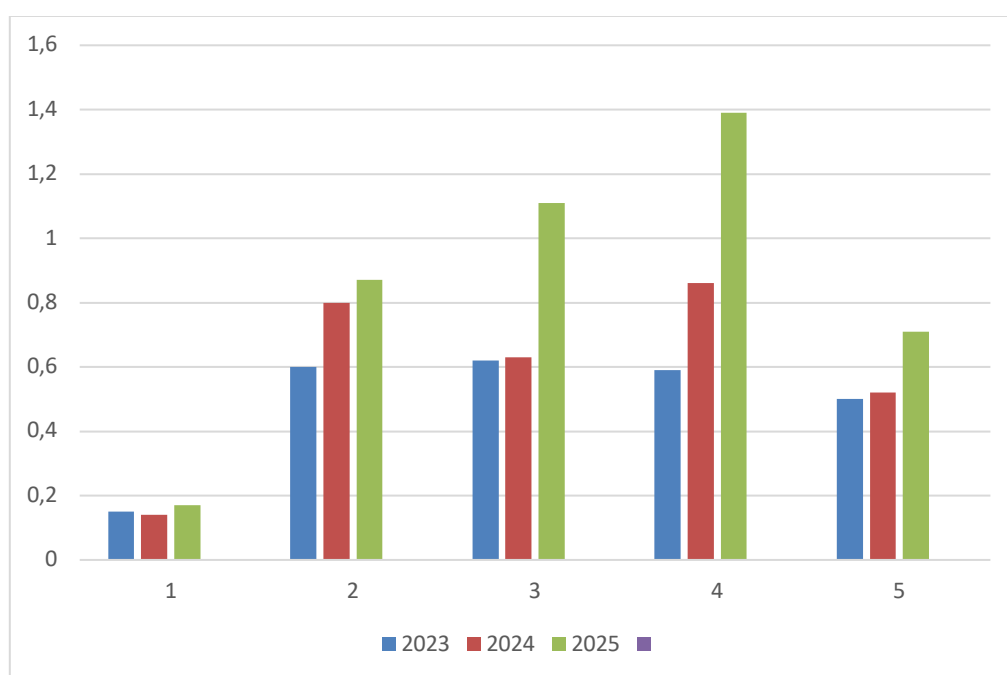


Рисунок 6.74 – Динамика прироста лесных культур (от среднего* количества на 100 м², ед. (ср. знач.)) разных видов растений на техноземах из плодородного слоя почвы и четвертичных отложений I категории (покровные суглинки)

1 – сосна сибирская (*Pinus sibirica*); 2 – рябина сибирская (*Sorbus sibirica*); 3 – карагана древовидная (*Caragana arborescens*); 4 – береза повислая (*Betula pubescens*); 5 – ель обыкновенная (*Picea abies*)

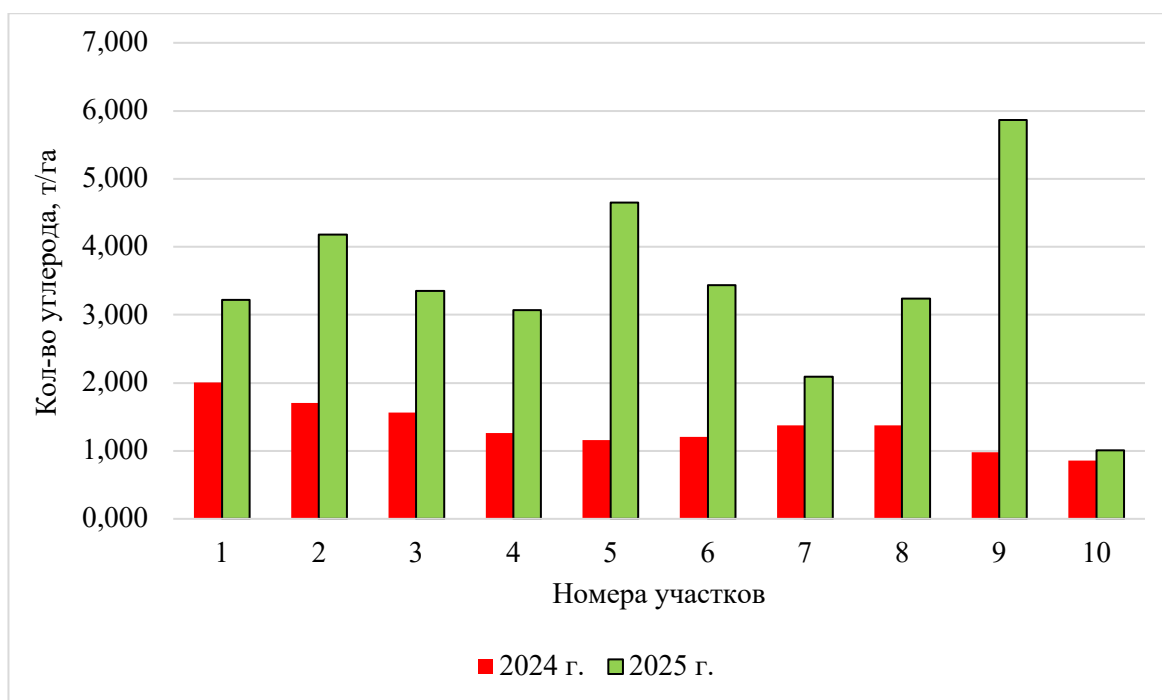


Рисунок 6.75 – Динамика количества углерода в пулах биомассы растений (включая надземную и подземную древесную биомассу, надземную и подземную биомассу травянистой растительности) на исследованных участках по годам, т/га

В результате суммирования пулов углерода в подстилке и почвы (рисунок 6.76) уменьшение количества углерода в 2025 г. (по сравнению с 2024 г.) сохраняется в силу пока еще меньшего вклада подстилки и активной трансформации твердой фазы почвы, а именно в поверхностных слоях фиксируется снижение плотности сложения молодых почв.

Таким образом, в 2024 г. количество углерода в пуле почвы варьирует в интервале с 21,882 (участок № 3) до 66,714 т/га (участок № 9), а в 2025 г. – с 18,944 (участок № 3) до 59,568 т/га (участок № 9).

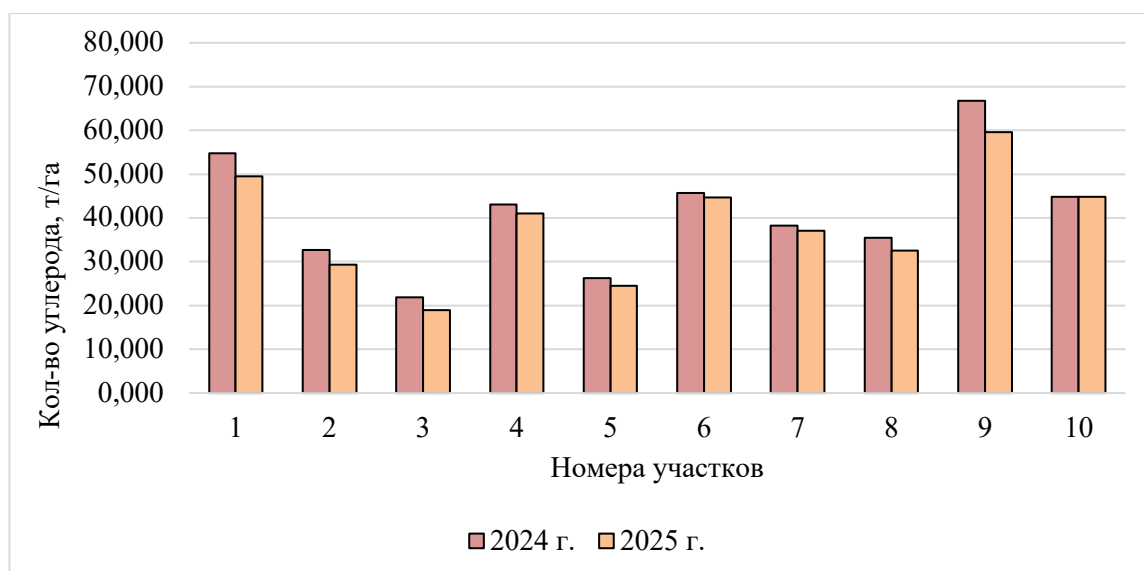


Рисунок 6.76 – Динамика количества углерода в пулах подстилки и почвы на исследованных участках по годам, т/га

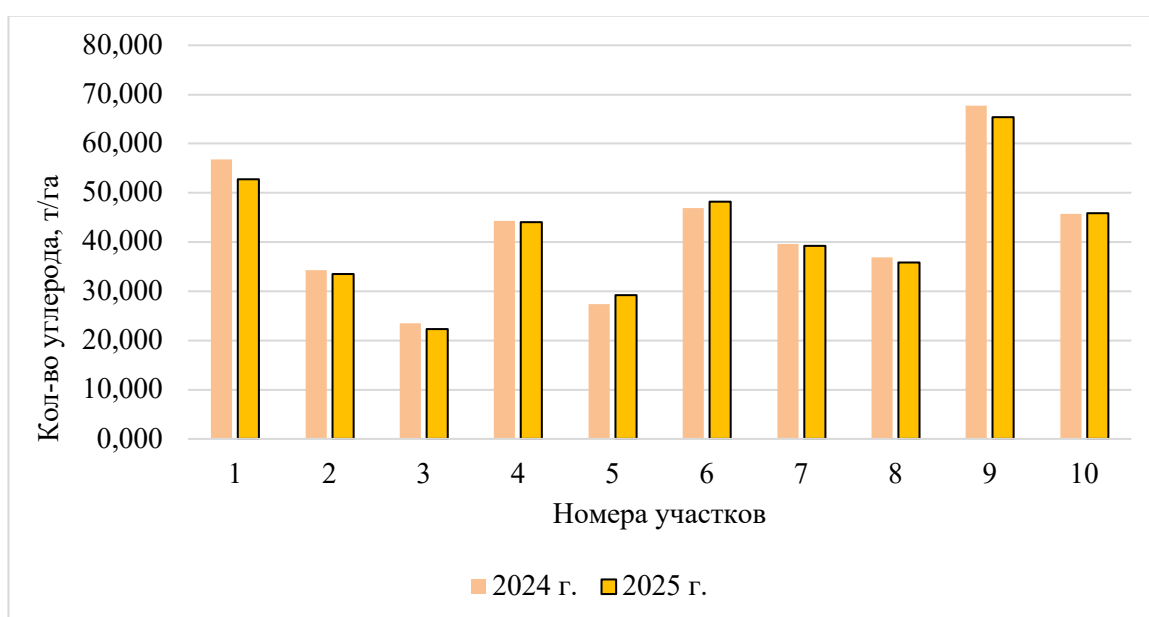


Рисунок 6.77 – Динамика количества углерода в пулах биомассы растений, подстилки и почвы на исследованных участках по годам, т/га

Результирующий показатель по запасам углерода в пулах биомассы растений (включая надземную и подземную древесную биомассу, надземную и подземную биомассу травянистой растительности, подстилки) и молодых почв на всех исследованных участках суммарное количество углерода в 2025 г. несколько ниже значений, полученных за 2024 г. (рисунок 6.77). Суммарное количество углерода в 2024 г. на площадках экологического полигона

варьирует в пределах от 23,447 (участок № 3) до 67,696 т /га (участок № 9), среднее 42,306 т/га, а в 2025 г. – от 22,300 (участок № 3) до 65,435 т/га (участок № 9), среднее 45,888 т/га.

Общий запас углерода на экспериментальных площадках экологического полигона в 2025 г. (по сравнению с 2024 годом) немного снизился, в частности, в среднем в 2024 г. с 42,306 до 41,631 т/га в 2025 г. Этот факт обусловлен снижением плотности сложения почв

6.4 Почвенно-экологическое состояние участков рекультивации

Оценка почвенно-экологического состояния молодых почв техногенных ландшафтов осуществлялась на основе картографирования почвенного покрова [42]. Дополнительно в работе была выполнена количественная диагностика почвенно-экологического состояния исследуемых участков рекультивации на основе бонитировочного подхода по формуле (6.8) [193 – 195]:

$$\text{ПЭС}_{\text{б.б.}} = B_{\text{п}} K_{\text{с}}, \quad (6.8),$$

где

$B_{\text{п}}$ – балл бонитета фоновой почвы, 100;

$K_{\text{с}}$ – коэффициент специфичности свойств исследуемых почв по отношению к свойствам зональной ненарушенной, доли ед.

В проведенных расчетах коэффициент специфичности представлен в процентах, балл бонитета техноземов и эмбриоземов равен коэффициенту специфичности в процентах.

Коэффициент специфичности почвы определяется по основным почвенным показателям. Это содержание физической глины ($K_{\text{с.ф.г.}}$), плотность сложения субстрата ($K_{\text{с.п.}}$) и содержание гумуса ($K_{\text{с.гум.}}$). Если исследуемые участки находятся на склоне или ровной поверхности, необходимо учитывать коэффициент специфичности рельефа ($K_{\text{с.рел.}}$). Чем

больше почвенные показатели отличаются от свойств естественных, ненарушенных почв, тем меньше K_c .

Коэффициент специфичности по содержанию физической глины рассчитывается по формуле (6.9):

$$K_{с.ф.г.} = \frac{K_{ф.г.п.тл.} \times 100}{K_{ф.г.эталон}} \quad (6.9),$$

где

$K_{ф.г.п.тл.}$ – содержание физической глины в почвах техногенных ландшафтов (техноземах и эмбриоземах);

$K_{ф.г.эталон}$ – содержание физической глины в естественной почве, принятой за эталон.

Коэффициент специфичности по плотности сложения рассчитывается по формуле (6.10):

$$K_{с.п.} = \frac{П_{с.эталон} \times 100}{П_{с.п.тл.}} \quad (6.10),$$

где

$П_{с.эталон}$ – плотность сложения естественной почвы, принятая за эталон;

$П_{с.п.тл.}$ – плотность сложения почв техногенных ландшафтов (техноземов и эмбриоземов);

Коэффициент содержания органического углерода определяется по формуле (6.11):

$$K_{с.с.орг.} = \frac{С_{орг.п.тл.} \times 100}{С_{орг.п.тл.эталон}} \quad (6.11),$$

где

$С_{орг.п.тл.}$ – содержание органического углерода в почвах техногенных ландшафтов (техноземах и эмбриоземах);

$С_{орг.п.тл.эталон}$ – содержание органического углерода в естественной почве, принятой за эталон.

В связи с тем, что все исследуемые почвы сформированы на выравненной поверхности, тогда $K_{с.рел.}$ равен 1.

Коэффициент специфичности почв рассчитывается как среднее значение коэффициентов специфичности по почвенным показателям с учетом мощности горизонтов по формуле (6.12):

$$K_c = \frac{K_{с.ф.г.} + K_{с.п.} + K_{с.с.орг.} + K_{с.рел.}}{4}. \quad (6.12)$$

Для расчета ПЭС взяты следующие показатели: содержание органического вещества – 4,0 %; физической глины – 42 %; плотность сложения – 1,1 г/см³. В качестве эталона выбраны горно-лесные бурые почвы.

Участок № 1

Площадка с насаждениями лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) и ели обыкновенной (*Picea abies*) (рисунок 6.78). Субстрат представлен из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров – ТЛ 100 %. Общее проективное покрытие в 2024 г. составило порядка 25 %, а в 2025 г. – 60 %. В зоне посева клевера ползучего (*Trifolium repens*) проективное покрытие составляет 90 – 95 %. Видовое разнообразие увеличилось с 23 (2024 г.) до 27 видов (2025 г.).



Рисунок 6.78 – Участок № 1 с посевом клевера ползучего (*Trifolium repens*)

Участок № 2

Площадка с насаждениями сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) (рисунок 6.79). Субстрат представлен из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров – ТЛ 100 %. Общее

проективное покрытие в 2024 г. составило порядка 20 %, а в 2025 г. – 60 %. В зоне посева клевера ползучего (*Trifolium repens*) проективное покрытие – 90 – 95 %. Количество видов в 2024 и 2025 гг. одинаковое и представлено 29 видами [211 – 213].



Рисунок 6.79 – Участок № 2 с посевом клевера ползучего (*Trifolium repens*)

Участок № 3

Площадка с насаждениями ели обыкновенной (*Picea abies*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (рисунок 6.80) Субстрат представлен из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров – ТЛ 100 %. Общее проективное покрытие в 2024 г. составило порядка 20 %, а в 2025 г. – 55 %. В зоне посева клевера ползучего (*Trifolium repens*) проективное покрытие составляет 90 – 95 %. Количество видов в сравнении с 2024 г. несколько возросло – с 31 до 37 видов.



Рисунок 6.80 – Участок № 3 с посевом клевера ползучего (*Trifolium repens*)

Участок № 4

Площадка с насаждениями липы сердцевидной (*Tilia cordata*), пихты сибирской (*Abies sibirica*) и сосны сибирской (*Pinus sibirica*) (рисунок 6.81). Субстрат представлен из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров – ТЛ 100 %. Общее проективное покрытие в 2024 г. составило порядка 25 %, а в 2025 г. – 60 %. В зоне посева клевера ползучего (*Trifolium repens*) проективное покрытие составляет 90 – 95 %. Видовое разнообразие увеличилось с 28 (2024 г.) до 36 видов (2025 г.).



Рисунок 6.81 – Участок № 4 с посевом клевера ползучего (*Trifolium repens*)

Участок № 5

Участок лесной рекультивации с насаждениями липы сердцевидной (*Tilia cordata*), рябины сибирской (*Sorbus sibirica*), черемухи обыкновенной (*Radus avium*), калины обыкновенной (*Viburnum opulus*), осины обыкновенной (*Populus tremula*) и спирея средняя (*Spiraea media*) (рисунок 6.82). Субстрат представлен из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров – ТЛ 100 %. Общее проективное покрытие в 2024 г. составило порядка 25 %, а в 2025 г. – 65 %. В зоне посева клевера ползучего (*Trifolium repens*) проективное

покрытие составляет 90 – 95 %. Количество видов изменилось незначительно, с 33 видов в 2024 г. до 36 видов в 2025 г.



Рисунок 6.82 – Участок № 5 с посевом клевера ползучего (*Trifolium repens*)

Участок № 6

Площадка с насаждениями ели обыкновенной (*Picea abies*), пихты сибирской (*Abies sibirica*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (рисунок 6.83). Субстрат представлен из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров – ТЛ 100 %. Общее проективное покрытие в 2024 г. составило порядка 20 %, а в 2025 г. – 70 %. В зоне посева клевера ползучего (*Trifolium repens*) проективное покрытие составляет 90 – 95 %. Количество видов незначительно увеличилось с 37 (2024 г.) до 44 видов (2025 г.).



Рисунок 6.83 – Участок № 6 с посевом клевера ползучего (*Trifolium repens*)

Участок № 7

Площадка с насаждениями сосны сибирской (*Pinus sibirica*), пихты сибирской (*Abies sibirica*), лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) и березы пушистой (*Betula pubescens*) (рисунок 6.84). Субстрат представлен из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров – ТЛ 100 %. Общее проективное покрытие в 2024 г. составило порядка 15 %, а в 2025 г. – 55 %. В зоне посева клевера ползучего (*Trifolium repens*) проективное покрытие составляет 90 – 95 %. Видовое разнообразие увеличилось с 33 (2024 г.) до 40 (2025 г.) видов.



Рисунок 6.84 – Участок № 7 с посевом клевера ползучего (*Trifolium repens*)

Участок № 8

Площадка с насаждениями сосны сибирской (*Pinus sibirica*), рябины сибирской (*Sorbus sibirica*), ели обыкновенной (*Picea abies*), караганы древовидной (*Caragana arborescens*), черемухи обыкновенной (*Padus avium*), калины обыкновенной (*Viburnum opulus*), осины обыкновенной (*Populus tremula*) и спиреи средней (*Spiraea media*) (рисунок 6.85). Субстрат представлен из четвертичных отложений II категории. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров – ТЛ 100 %.

Общее проективное покрытие в 2024 г. составило порядка 20 %, а в 2025 г. – 60 %. В зоне посева клевера ползучего (*Trifolium repens*) проективное покрытие составляет 90 – 95 %. Количество видов изменилось существенно (с 25 видов в 2024 г. до 41 вида в 2025 г.).



Рисунок 6.85 – Участок № 8 с посевом клевера ползучего (*Trifolium repens*)

Участок № 9

Площадка с насаждениями березы пушистой (*Betula pubescens*), сосны сибирской (*Pinus sibirica*), рябины сибирской (*Sorbus sibirica*) и караганы древовидной (*Caragana arborescens*) (рисунок 6.86). Субстрат представлен из смеси плодородного слоя почвы и четвертичных отложений I категории (покровных суглинков). Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров – ТГН 100 %. Общее проективное покрытие в 2024 г. составило порядка 10 %, а в 2025 г. – 75 %. В зоне посева клевера ползучего (*Trifolium repens*) проективное покрытие составляет 90 – 95 %. Количество видов очень сильно возросло – с 35 (2024 г.) до 52 (2025 г.) видов.



Рисунок 6.86 – Участок № 9 с посевом клевера ползучего (*Trifolium repens*)

Участок № 10

Площадка с насаждениями сосны сибирской (*Pinus sibirica*), ели обыкновенной (*Picea abies*) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (рисунок 6.87). Субстрат участка представлен техногенным элювием из аргиллитов, песчаников и алевролитов. Рельеф мелкобугристый с западинами и промоинами. Почвенный покров – ЭИ 100 %. Общее проективное покрытие в 2024 г. составило порядка 1 %, а в 2025 г. – 2 %. В зоне посева клевера ползучего (*Trifolium repens*) проективное покрытие составляет 2 %. Видовое разнообразие увеличилось всего с 6 (2024 г.) до 8 (2025 г.) видов.



Рисунок 6.87 – Участок № 10 с посевом клевера ползучего (*Trifolium repens*)

Анализ результатов расчета почвенно-экологического состояния (ПЭС) экспериментальных участков показал, что по сравнению с 2023 г. показатели ТЛ улучшились. В настоящее время они составляют от 22 до 37 % от значений для естественных почв. На участке с ТГН (участок № 9) выявлены более благоприятные экологические условия и ПЭС составляет 50 %. Это обусловлено содержанием фракции физической глины и органического вещества в почвенном профиле (таблица 6.19).

Формирование корнеобитаемого слоя из смеси ПСП и четвертичных отложений I категории улучшает восстановление экологических функций почвы, отвечающих за ее тепловой и водный режимы. Данный процесс имеет особое значение на начальном этапе формирования растительного покрова на техногенных ландшафтах.

На участке № 10 (ЭИ) почвенно-экологическое состояние оценивается как низкое и составляет всего 16 % (таблица 6.20).

Таблица 6.19 – Свойства почв на пробных площадках экологического мониторинга, определяющие их специфичность по отношению к почвам ненарушенных участков, 2023 г.

Тип почв	Глубина, см	Содержание		Плотность, г/см ³	K _{с.ф.г.} , %	K _{с.орг.} , %	K _{с.п.} , %	K _{с.рел.} , %	K _{с.} , %
		Физ. глины,%*	C _{орг.} , %						
Участок № 1									
Технозем яитогенный (ТЛ) – 100 %	0 – 5	9,13	1,47	1,47	17	37	68	1	31
	5 – 10	7,72	1,42	1,38					
	10 – 20	4,83	1,49	1,49					
ПЭС, %	31								
Участок № 2									
Технозем литогенный – (ТЛ) 100 %	0 – 5	8,93	1,1	1,75	18	22	25	1	16
	5 – 10	7,4	0,89	2,01					
	10 – 20	6,18	0,68	2,02					
ПЭС, %	16								

Продолжение таблицы 6.19

Тип почв	Глубина, см	Содержание		Плотность, г/см ³	К _{с.ф.г.} , %	К _{с.орг.} , %	К _{с.п.} , %	К _{с.рел.} , %	К _с , %
		Физ. глины, %*	С _{орг.} , %						
Участок № 3									
Технозем литогенный – (ТЛ) 100 %	0 – 5	10,16	0,68	1,6	19	15	42	1	19
	5 – 10	8,36	0,59	1,58					
	10 – 20	5,75	0,54	2,02					
ПЭС, %	19								
Участок № 4									
Технозем литогенный – (ТЛ) 100 %	0 – 5	7,32	1,03	1,69	14	28	42	1	21
	5 – 10	6,72	1,1	1,66					
	10 – 20	3,7	1,27	1,86					
ПЭС, %	21								
Участок № 5									
Технозем литогенный – (ТЛ) 100 %	0 – 5	9	0,98	1,51	23	22	52	1	25
	5 – 10	8,12	0,93	1,68					
	10 – 20	11,94	0,74	1,68					
ПЭС, %	25								
Участок № 6									
Технозем литогенный – (ТЛ) 100 %	0 – 5	14,25	1,56	1,6	22	36	41	1	25
	5 – 10	6,21	1,52	1,81					
	10 – 20	6,81	1,18	1,84					
ПЭС, %	25								
Участок № 7									
Технозем литогенный – (ТЛ) 100 %	0 – 5	6,21	0,99	1,83	17	26	39	1	21
	5 – 10	8,81	1,04	1,72					
	10 – 20	6,76	1,06	1,77					
ПЭС, %	21								
Участок № 8									
Технозем литогенный – (ТЛ) 100 %	0 – 5	11,44	1,27	1,45	20	29	52	1	25
	5 – 10	7,04	1,13	1,71					
	10 – 20	6,6	1,03	1,71					
ПЭС, %	25								
Участок № 9									
Технозем недифференцированный гумусогенный – ТГН 100 %	0 – 5	14,57	2,09	1,65	38	51	42	1	33
	5 – 10	19,47	2,34	1,78					
	10 – 20	14,04	1,7	1,78					
ПЭС, %	33								
Участок № 10									
Эмбриозем инициальный –ЭИ 100 %	0 – 5	0,85	1,66	1,8	2	32	28	1	16
	5 – 10	0,98	1,1	1,8					
	10 – 20	0,66	1,07	2,09					
ПЭС, %	16								

* расчет содержания физической глины на весь объем субстрата

Таблица 6.20 – Свойства почв на пробных площадках экологического мониторинга, определяющие их специфичность по отношению к почвам ненарушенных участков, 2025 г.

Тип почв	Глубина, см	Содержание		Плотность, г/см ³	K _{с.ф.г.} , %	K _{с.с.орг.} , %	K _{с.п.} , %	K _{с.рел.} , %	K _с , %
		Физ. глины, %*	C _{орг.} , %						
Участок № 1									
Технозем литогенный – (ТЛ) 100 %	0 – 5	24,83	1,47	1,50	42	37	69	1	37
	5 – 10	15,58	1,42	1,65					
	10 – 20	12,8	1,49	1,18					
ПЭС, %	37								
Участок № 2									
Технозем литогенный – (ТЛ) 100 %	0 – 5	5,65	1,1	1,64	18	22	85	1	31
	5 – 10	9,77	0,89	1,19					
	10 – 20	6,65	0,68	0,97					
ПЭС, %	31								
Участок № 3									
Технозем литогенный – (ТЛ) 100 %	0 – 5	9,93	0,68	1,49	26	15	48	1	22
	5 – 10	9,6	0,59	1,29					
	10 – 20	12,95	0,54	2,24					
ПЭС, %	22								
Участок № 4									
Технозем литогенный – (ТЛ) 100 %	0 – 5	12,38	1,03	1,54	17	28	62	1	27
	5 – 10	3,08	1,1	1,54					
	10 – 20	5,36	1,27	1,49					
ПЭС, %	27								
Участок № 5									
Технозем литогенный – (ТЛ) 100 %	0 – 5	9,09	1,09	1,42	14	19	58	1	23
	5 – 10	4,77	0,69	1,54					
	10 – 20	4,34	0,48	1,73					
ПЭС, %	23								
Участок № 6									
Технозем литогенный – (ТЛ) 100 %	0 – 5	7,41	1,56	1,62	15	36	55	1	26
	5 – 10	6,85	1,52	1,45					
	10 – 20	4,5	1,18	1,73					
ПЭС, %	26								
Участок № 7									
Технозем литогенный – (ТЛ) 100 %	0 – 5	9,4	0,99	1,50	21	26	60	1	27
	5 – 10	8,74	1,04	1,60					
	10 – 20	8,21	1,06	1,53					
ПЭС, %	27								

Продолжение таблицы 6.20

Тип почв	Глубина, см	Содержание		Плотность, г/см ³	K _{с.ф.г.} %	K _{с.орг.} %	K _{с.п.} %	K _{с.рел.} %	K _с %
		Физ. глины, %*	C _{орг.} , %						
Участок № 8									
Технозем литогенный – (ТЛ) 100 %	0 – 5	8,32	1,27	1,53	20	29	87	1	34
	5 – 10	8,64	1,13	1,03					
	10 – 20	8,3	1,03	1,18					
ПЭС, %	34								
Участок № 9									
Технозем недифференцированный гумусогенный (ТЛ) 100 %	0 – 5	22,98	2,09	1,23	51	51	99	1	50
	5 – 10	22,47	2,34	0,9					
	10 – 20	18,86	1,7	1,21					
ПЭС, %	50								
Участок № 10									
Эмбриозем инициальный – (ТЛ) 100 %	0 – 5	0,85	1,66	1,8	2	32	28	1	16
	5 – 10	0,98	1,1	1,8					
	10 – 20	0,66	1,07	2,09					
ПЭС, %	16								

* расчет содержания физической глины на весь объем субстрата

На основании результатов оценки почвенно-экологического состояния участков полигона установлено, что за трехлетний период функционирования техноземов почвенно-экологическое состояние по отношению к естественным почвам изменилось в лучшую сторону и варьирует в диапазоне от 22 до 50 %. Прежде всего, это обусловлено тем, что техноземы сформированы из литогенных ресурсов, в которых активно происходит процесс трансформации твердой фазы почвы, особенно в поверхностном слое. Уже в первые годы функционирования молодых почв наблюдается изменение плотности сложения почвенного профиля за счет процессов физического выветривания и активного развития растительного покрова, а также увеличения фракции мелкозема и физической глины. Более благоприятным состоянием (в порядке убывания) обладает участок, где почвенный покров представлен ТГН (участок № 9), корнеобитаемый слой которого сложен из плодородного слоя почвы и четвертичных отложений I категории (ПЭС – 50 %) (рисунок 6.88).

Наибольшие показатели ПЭС достигается при сильном увеличении содержании физической глины в почвах (участки № 1 и 9) и/или при снижении плотности сложения.

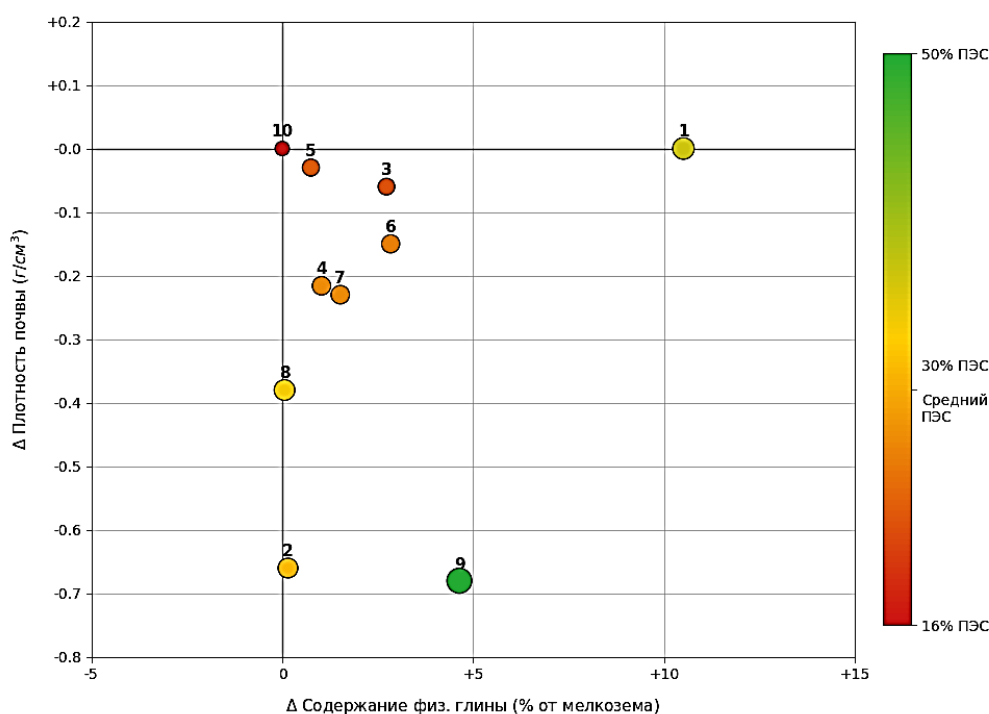


Рисунок 6.88 – Зависимость изменения физических свойств почв и ПЭС рекультивированных участков в 2023 – 2025 гг.

В связи с высокой каменистостью почв, незначительным содержанием фракции физической глины и, соответственно, слабым развитием растительного покрова на участке № 10 (ЭИ) почвенно-экологическое состояние оценивается как низкое (16 %) и не изменилось за время исследований (рисунок 6.88). В среднем изменения значений ПЭС рекультивированных почв за два года увеличилось на 26,3 %. Однако, на некоторых участках отмечается снижения ПЭС, что связано с увеличением каменистости почв в поверхностном слое.

Результаты сравнений данных вегетационного индекса NDVI с почвенно-экологическим состоянием экспериментальных участков (ПЭС) и развитием фитоценоза показывают положительную взаимосвязь. Активное развитие растительного покрова коррелирует практически на всех участках с ПЭС и значениями вегетационного индекса (таблица 6.21 и рисунок 6.89).

Таблица 6.21 – Значения ПЭС, NDVI для экспериментальных участков экологического полигона

Участок/ почва	Почвенно-экологическое состояние участков, %		NDVI (среднее значение из семи снимков за 2024 г.)			Рельеф поверхности, градус
	2023 г.	2025 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	
1 ТЛ	31	37	0,12	0,20	0,47	1
2 ТЛ	16	31	0,11	0,19	0,47	1
3 ТЛ	19	22	0,11	0,20	0,47	1
4 ТЛ	21	27	0,10	0,17	0,43	1
5 ТЛ	25	23	0,09	0,17	0,41	1
6 ТЛ	25	26	0,10	0,18	0,37	1
7 ТЛ	21	27	0,10	0,16	0,41	1
8 ТЛ	25	34	0,10	0,17	0,33	1
9 ТНГ	33	50	0,09	0,15	0,50	1
10 ЭИ	16	16	0,08	0,10	0,13	1

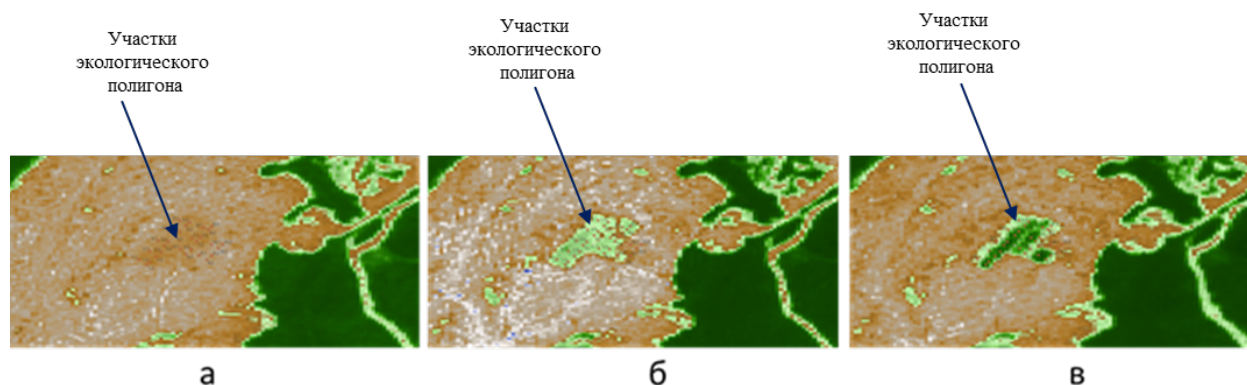


Рисунок 6.89 – Снимки экологического полигона:

а – 2023 г., б – 2024 г., в – 2025 г.

На основании результатов исследования и расчетов почвенно-экологического состояния участков полигона установлено, что за трехлетний период функционирования ТЛ состояние исследуемых участков изменилось в лучшую сторону, варьирует в диапазоне от 16 до 50 %.

Прежде всего, это обусловлено изменением плотности сложения почвенного профиля за счет процессов физического выветривания и активного развития растительного покрова, что способствовало увеличению фракции мелкозема и физической глины.

На участке с ТГН (участок № 9) выявлены более благоприятные экологические условия и ПЭС составляет 50 %. Положительный экологический эффект на данном участке обусловлен увеличением содержания фракции физической глины и органического вещества в почвенном профиле.

Таким образом, формирование корнеобитаемого слоя из смеси плодородного слоя почвы и четвертичных отложений I категории улучшает восстановление экологических функций почвы, особенно отвечающих за ее тепловой и водный режимы. Это критически важно на начальном этапе формирования растительного покрова на техногенных ландшафтах.

На участке № 10 (ЭИ) почвенно-экологическое состояние оценивается как низкое и составляет всего 16 % (таблица 6.20). Вероятнее всего, это факт обусловлен высокой каменистостью почв, незначительным содержанием фракции физической глины и соответственно слабым развитием растительного покрова.

Другая ситуация складывается на участках рекультивации, где корнеобитаемый слой на поверхности отвала сложен из основных вскрышных и вмещающих пород.

Растения в рамках биологического этапа рекультиваций были высажены в каменистый субстрат из основных вскрышных пород.

Результаты ранее проведенных исследований участков рекультивации (участки № № 4.1, 4.4, 4.5, 4.6, 4.8 и 4.9) на склоне внешнего отвала АО «Разреза Распадский» без формирования корнеобитаемого слоя из литогенных ресурсов показывают слабое развитие растительного покрова [214].

Участок № 4.1

Участок лесной рекультивации с посадкой сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) (рисунок 6.90). Нижняя часть склона (крутизна до 20 градусов). Субстрат отвала представлен смесью вскрышных и вмещающих пород. Рельеф мелкобугристый с промоинами. На поверхности присутствует моховый

покров. Общее проективное покрытие растительностью не более 30 %. В структуре почвенного покрова преобладают ЭИ.



Рисунок 6.90 – Растительный покров участка № 4.1

Участок № 4.3

Участок лесной рекультивации с посадкой сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Средняя часть спланированного участка. Субстрат отвала представлен смесью вскрышных и вмещающих пород. Рельеф, спланированный с западинами (рисунок 6.91). Проективное покрытие более 40 %. В структуре почвенного покрова преобладают ЭОА.



Рисунок 6.91 – Растительный покров участка № 4.3

Участок № 4.4

Спланированный участок лесной рекультивации с посадкой сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Средняя часть склона, крутизна составляет около 20 градусов. Субстрат отвала представлен смесью вскрышных и вмещающих пород. Рельеф выровненный с промоинами до 0,5 м глубиной (рисунок 6.92). Почвенный покров представлен эмбриоземом инициальным. Проектное покрытие не более 10 %.



Рисунок 6.92 – Растительный покров участка 4.4

Участок № 4.5

Нижняя часть спланированного склона участка рекультивации с крутизной склона около 30 градусов. Субстрат отвала представлен смесью вскрышных и вмещающих пород. Рельеф выровненный, с промоинами до 0,1 м глубиной. На поверхности практически отсутствует растительность, проективное покрытие не более 10 % (рисунки 6.93, 6.95). В структуре почвенного покрова преобладают ЭИ.



Рисунок 6.93 – Растительный покров участка № 4.5

Участок № 4.6

Нижняя часть спланированного склона участка рекультивации с крутизной склона не более 30 %. Субстрат отвала представлен смесью вскрышных и вмещающих пород. Рельеф выровненный, с промоинами до 0,1 м глубиной. Общее проективное покрытие не более 20 %. В структуре почвенного покрова преобладают ЭИ.

Участок № 4.7

Участок лесной рекультивации с посадкой сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Средняя часть спланированного участка. Субстрат отвала представлен смесью вскрышных и вмещающих пород. Рельеф, спланированный с западинами (угол падения склона участка не более 10 градусов). Проективное покрытие более 40 %. (рисунок 6.94). В структуре почвенного покрова преобладают ЭОА.



Рисунок 6.94 – Растительный покров участка № 4.7 [214]

Участок № 4.8

Нижняя часть спланированного склона участка рекультивации с крутизной склона около 30 градусов. Субстрат отвала представлен смесью вскрышных и вмещающих пород. Рельеф выровненный, с промоинами до 0,1 м глубиной. В структуре почвенного покрова преобладают ЭИ, причем доля

последних является доминирующей. Проективное покрытие с растительностью не более 10 %.

Участок № 4.9

Участок лесной рекультивации с посадкой сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Нижняя часть спланированного склона участка с крутизной около 30 градусов. Субстрат отвала представлен смесью вскрышных и вмещающих пород. Рельеф выровненный, с промоинами до 0,1 м глубиной. На поверхности практически отсутствует растительность. В структуре почвенного покрова преобладают ЭИ. Проективное покрытие растительностью не более 10 %.

Результаты исследований растительного покрова показали, что видовой состав растений на участках представлен 25 видами высших сосудистых растений, в том числе 6 видами деревьев и одним видом кустарников. Среди древесных форм доминирующую позицию занимает сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и её содоминанты, с разной степенью участия выступают берёза повислая (*Betula pendula* Roth) и тополь чёрный (*Populus nigra* L.) [214]. Травянистый покров представлен 18 видами, с общим проективным покрытием около 30 %. Помимо этого, значительная часть видов находится в угнетенном состоянии. Незначительное содержание фракции физической глины и органического вещества, увеличение крупных каменистых отдельностей вниз по профилю исследуемых почв, а также содержание мелкозема (от 36 % в верхнем слое и до 26 % в нижней части профиля почвы) – все это обуславливает доминирование ЭИ в структуре почвенного покрова [214]. Почвенно-экологическое состояние участков характеризуется как неудовлетворительное (12 – 18 % ПЭС), так как практически за 20-ти-летний период функционирования почв в структуре почвенного покрова доминируют ЭИ (таблица 6.95) Следует отметить, что на ПЭС участков существенное влияние оказал сформированный на технологическом этапе рельеф, крутизна склона отвала на участках около 30 градусов [214].



Рисунок 6.95 – Участок № 4.5, крутой склон отвала [214]

Таблица 6.22 – Свойства почв участков, определяющие их специфичность по отношению к почвам ненарушенных участков [214]

Тип почв	Глубина, см	Содержание		Плотность, г/см ³	K _{с.ф.г.} %	K _{с.гум.} %	K _{с.п.} %	K _{с.рел.} %	K _с , %
		Физ. глины,%*	С _{орг.} , %						
Участок № 4.1									
Эмбриозем инициальный – 65 %	0 – 5	2,71	1,9	1,8	5,3	18,9	24	0,6	12
	5 – 10	2,06	0,17	1,9					
	10 – 20	1,91	0,2	2,1					
Эмбриозем органо- аккумулятивный – 35 %	0 – 5	5,96	2,3	1,5	17	40	42	0,6	25
	5 – 10	7,70	1,9	1,6					
	10 – 20	7,72	0,6	2,1					
ПЭС, %	16,55								
Участок № 4.3									
Эмбриозем инициальный – 15 %	0 – 5	2,91	2,0	1,8	5	20	24	0,6	12
	5 – 10	2,16	0,17	1,9					
	10 – 20	1,91	0,22	2,1					
Эмбриозем органо- аккумулятивный – 85 %	0 – 5	9,47	1,9	1,4	18	29	52	0,6	25
	5 – 10	9,41	1,3	1,6					
	10 – 20	4,06	0,3	1,9					
ПЭС, %	23,05								

Продолжение таблицы 6.22

Тип почв	Глубина, см	Содержание		Плотность, г/см ³	К _{с.ф.г.} , %	К _{с.гум.} , %	К _{с.п.} , %	К _{с.рел.} , %	К _с , %
		Физ. глины %*	Сорг., %						
Участок № 4.4									
Эмбриозем инициальный – 100 %	0 – 5	6,60	0,4	1,6	12	12	27	0,6	13
	5 – 10	4,54	0,3	1,9					
	10 – 20	4,01	0,7	2,2					
ПЭС, %	13								
Участок № 4.5									
Эмбриозем инициальный – 85 %	0 – 5	2,77	1,7	1,7	5	17	27	0,7	12
	5 – 10	2,06	0,17	1,9					
	10 – 20	1,91	0,2	2,1					
Эмбриозем органо- аккумулятивный – 15 %	0 – 5	2,81	1,8	1,7	5	19	27	0,7	13
	5 – 10	2,12	0,24	1,9					
	10 – 20	1,91	0,21	2,1					
ПЭС, %	12,15								
Участок № 4.6									
Эмбриозем инициальный – 75 %	0 – 5	2,97	1,81	1,7	5	19	27	0,7	13
	5 – 10	2,14	0,19	1,9					
	10 – 20	1,97	0,28	2,1					
Эмбриозем органо- аккумулятивный – 35 %	0 – 5	5,98	2,6	1,5	17	42	39	0,7	25
	5 – 10	7,70	1,9	1,7					
	10 – 20	7,72	0,6	2,1					
ПЭС, %	18,5								
Участок № 4.7									
Эмбриозем инициальный – 10 %	0 – 5	2,91	2,0	1,8	5	19,9	24	0,6	13
	5 – 10	2,16	0,17	1,9					
	10 – 20	1,91	0,22	2,1					
Эмбриозем органо- аккумулятивный – 90 %	0 – 5	8,31	1,6	1,5	21	50	55	0,6	32
	5 – 10	8,88	2,2	1,6					
	10 – 20	9,72	2,3	1,7					
ПЭС, %	30,1								

Продолжение таблицы 6.22

Тип почв	Глубина, см	Содержание		Плотность, г/см³	К _{с.ф.г.} , %	К _{с.гум.} , %	К _{с.п.} , %	К _{с.рел.} , %	К _с , %
		Физ. глины, %	Сорг., %						
Участок № 4.8									
Эмбриозем инициальный – 95 %	0 – 5	2,61	1,9	1,8	5	19	24	0,7	12
	5 – 10	2,08	0,17	1,9					
	10 – 20	1,74	0,2	2,1					
Эмбриозем органо- аккумулятивный – 5 %	0 – 5	4,96	2,1	1,5	15	38	42	0,7	24
	5 – 10	6,70	1,9	1,6					
	10 – 20	7,72	0,6	2,1					
ПЭС, %	12,6								
Участок № 4.9									
Эмбриозем инициальный – 88 %	0 – 5	2,41	1,9	1,8	5	30	24	0,8	15
	5 – 10	2,18	1,17	1,9					
	10 – 20	1,78	0,5	2,1					
Эмбриозем органо- аккумулятивный – 12 %	0 – 5	4,91	2,61	1,5	15	42	42	0,8	25
	5 – 10	6,76	1,9	1,6					
	10 – 20	7,72	0,6	2,1					
ПЭС, %	16,2								

* расчет содержания физической глины на весь объем субстрата

На участках (№ 4.3 и 4.7) наблюдается другая ситуация: в структуре почвенного покрова существенно увеличивается доля ЭОА, почвенно-экологическое состояние участка рекультивации, несмотря на то, что процессы почвообразования развиты слабо, ПЭС характеризуется как удовлетворительное (ПЭС более 20 %) (таблица 6.22). [214]

Более благоприятный рельеф, угол падения склона на участках составляет 10 градусов, способствует улучшению развития растительного покрова (проективное покрытие более 40 %), что в свою очередь влияет на деятельность биофизического выветривания и приводит к увеличению мелкозема в профиле молодых почв (более 30 % от всего объема субстрата); снижению плотности в верхних горизонтах (от 1,4 до 1,5 г/см³), что в свою очередь улучшает водно-физические свойства почв [214].

На основании оценки почвенно-экологического состояния участков полигона установлено, что за трехлетний период функционирования техноземов почвенно-экологическое состояние по отношению к естественным почвам изменилось в лучшую сторону и варьирует в диапазоне от 22 до 37 %. Прежде всего, это связано с тем, что техноземы сформированы из литогенных ресурсов, в которых активно происходит процесс трансформации твердой фазы почва, особенно в поверхностном слое. Уже в первые годы функционирования молодых почв наблюдается изменение плотности сложения почвенного профиля за счет процессов физического выветривания и активного развития растительного покрова, а также увеличения фракции мелкозема и физической глины.

Таким образом, оценка почвенно-экологического состояния участков на полигоне показала, что более благоприятным состоянием, в порядке убывания, обладает участок, где почвенный покров представлен ТГН (участок № 9), корнеобитаемый слой которого сложен из плодородного слоя почвы и четвертичных отложений I категории (ПЭС – 50 %) (таблица 6.22). Положительный экологический эффект на данном участке обусловлен содержанием фракции физической глины и органического вещества в почвенном профиле. Следовательно, формирование корнеобитаемого слоя из смеси плодородного грунта почвы и четвертичных отложений I категории способствует улучшению условий для восстановления экологических функций почвы, ответственные за тепловой и водный режимы. Это особенно важно на начальном этапе формирования растительного покрова на техногенных ландшафтах.

В связи с высокой каменистостью почв, незначительным содержанием фракции физической глины и соответственно слабым развитием растительного покрова на участке № 10 (ЭИ) почвенно-экологическое состояние оценивается как низкое и составляет всего 16 % (таблица 6.22).

Результаты исследований участков после рекультивации на внешнем отвале, где корнеобитаемый слой сформирован из каменистого субстрат

основных вскрышных пород, показали, что почвенно-экологическое состояние участков характеризуется как неудовлетворительное (от 12 до 18 %), в связи с тем, что практически за 20-летний период функционирования почв на рекультивированных участках в структуре почвенного покрова доминируют ЭИ (таблица 6.22).

На более пологих участках рекультивации (№ 4.3 и 4.7), где в структуре почвенного покрова доминируют ЭОА (более 85 %), созданы более благоприятные условия для развития растительного покрова, соответственно почвенно-экологическое состояние участков оценивается как удовлетворительное (от 22 до 30 %). Вероятнее всего, формирование спланированного рельефа способствовало улучшению водно-физических свойств молодых почв, развитию растительного покрова. Соответственно, более горизонтальные поверхности способствуют улучшению экологических условий и процессы почвообразования идут более активно, поэтому в структуре почвенного покрова на участках № 4.3 и 4.7 доминируют ЭОА (таблица 6.22).

На основании результатов многолетних исследований использования литогенных ресурсов установлено, что использование четвертичных отложений I категории (покровные суглинки) для создания искусственных почв (техноземов) участки рекультивации имеют благоприятное почвенно-экологическое состояние: за 13 – 48 лет в структуре почвенного покрова фиксируется формирование гумусово-аккумулятивных эмбриоземов. ПЭС характеризуется хорошим и очень хорошим состоянием (от 79 до 91 %) (рисунок 6.96).

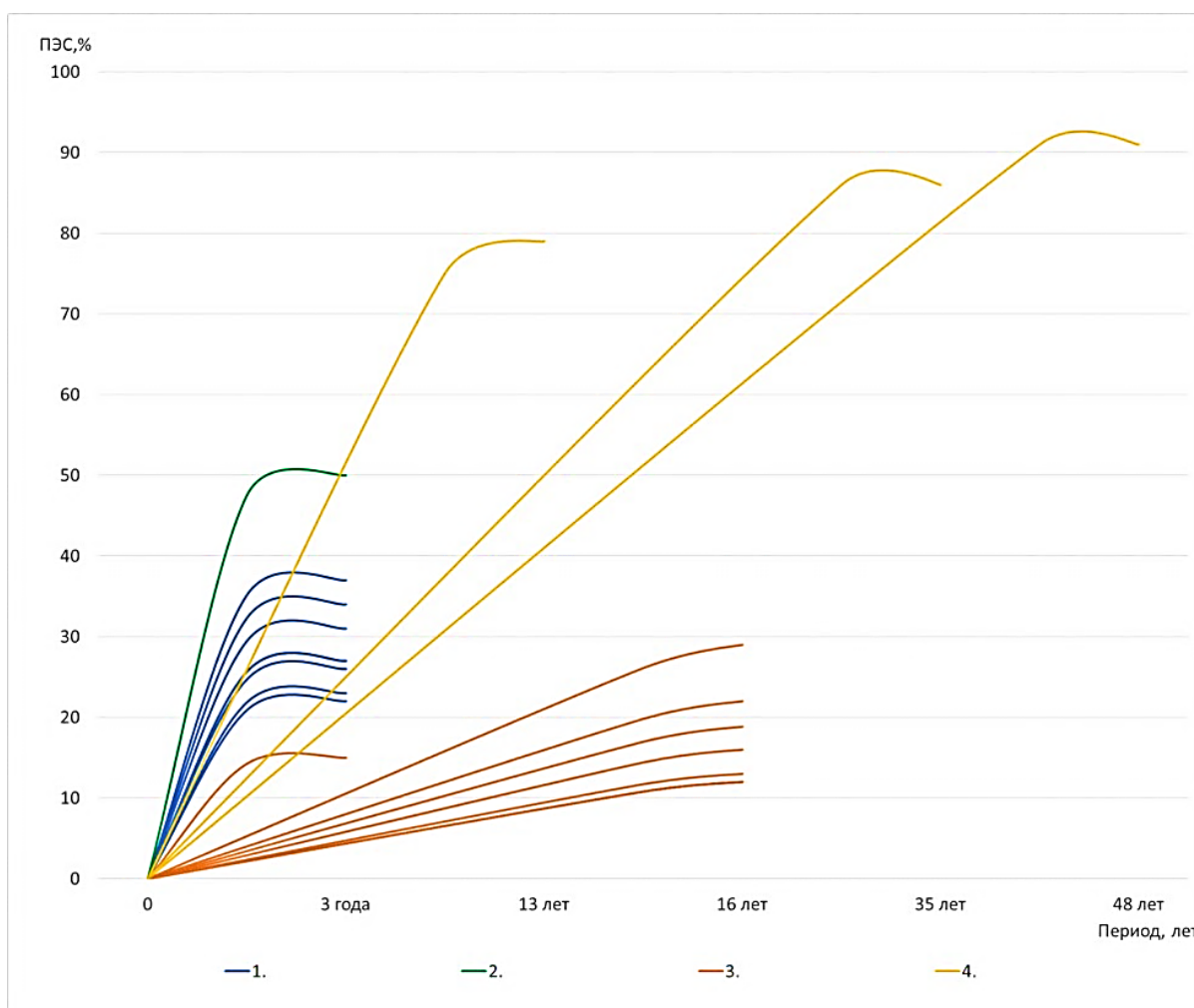


Рисунок 6.96 – Зависимость почвенно-экологического состояния участков рекультивации от качественного состава корнеобитаемого слоя почв и времени функционирования молодых почв

1 – ТЛ, сформированные из четверичных отложений II категории; 2 – ТГН (участки полигона ПСП и четверичных отложений I категории (участок полигона № 9); 3 – ЭИ и ЭОА, образованные на поверхности из смеси основных вскрышных и вмещающих пород (участок полигона № 10 и участки № 4.1 – 4.7); 4 – ЭГА и ЭД, сформированные из четверичных отложений I категории (участки филиала АО «УК» «Кузбассразрезуголь» Калтанского угольного разреза)

6.5 Изучение эффективности использования техногенных ресурсов (окисленные угли, золошлаковые материалы) для рекультивации земель

Результаты научных исследований по оценке биологической продуктивности почвогрунтов с использованием вторичных ресурсов (золошлаковые материалы) и окисленных углей, полученные Шайхислам Г., показали, что внесение 10 % почвогрунтов в состав четвертичных отложений существенно повысило всхожесть семян, а также заметно привело к приросту стебля растений и корневой системы [146, 147].

Кроме того, использование метода ультразвуковой активации обеспечило повышение выхода гуминовых кислот из окисленных каменных углей. Данная технология получения почвогрунтов была использована для создания искусственных почв – техноземов, модифицированных на экологическом полигоне [146, 147].

Анализ результатов исследований основных агрохимических свойств показал, что в почвенном профиле модифицированных техноземов, в сравнении с техноземами литогенными (контроль), существенно увеличилось содержание органического вещества и изменяется вниз по профилю с 2,31 до 2,13 %, а также общего азота с 0,15 до 0,13 % (таблица 6.23, рисунок 6.97).

Запасы доступного фосфора для растений максимально аккумулируются в верхнем слое молодых почв до 14,2 мг/кг и с глубиной снижаются. Содержание подвижного калия высокое также аккумулируется в слое 0 – 5 см и составляет до 325 мг/кг (таблица 6.23, рисунок 6.97). Ёмкость катионного обмена (ЕКО) изменяется незначительно и с глубиной и варьирует от 22,7 до 22,8 мг-экв/100 г. Следует отметить, что за счет хорошей ЁКО увеличивается депонирующая способность молодых почв органического вещества и элементов питания, что способствует предотвращению вымывания ценных питательных элементов в нижние слои корнеобитаемого слоя значительными атмосферными осадками [215].

Таблица 6.23 – Основные агрохимические показатели

Тип почв/участок	Глубина, см	С _{орг.} , %	Азот общий (N), %	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	ЁКО	рН _{водн.}
Технозем модифицированный, участок № 11	0 – 5	2,31	0,15	14,2	385	22,7	8,4
	5 – 10	2,32	0,10	14,0	259	22,3	8,4
	10 – 20	2,13	0,13	12,2	325	22,8	8,4
Технозем литогенный, участок № 12	0 – 5	0,86	0,09	29,51	75,0	11	6,8
	5 – 10	0,64	0,06	22,46	85,0	12	6,6
	10 – 20	0,71	0,08	71,56	98,0	10	7,0

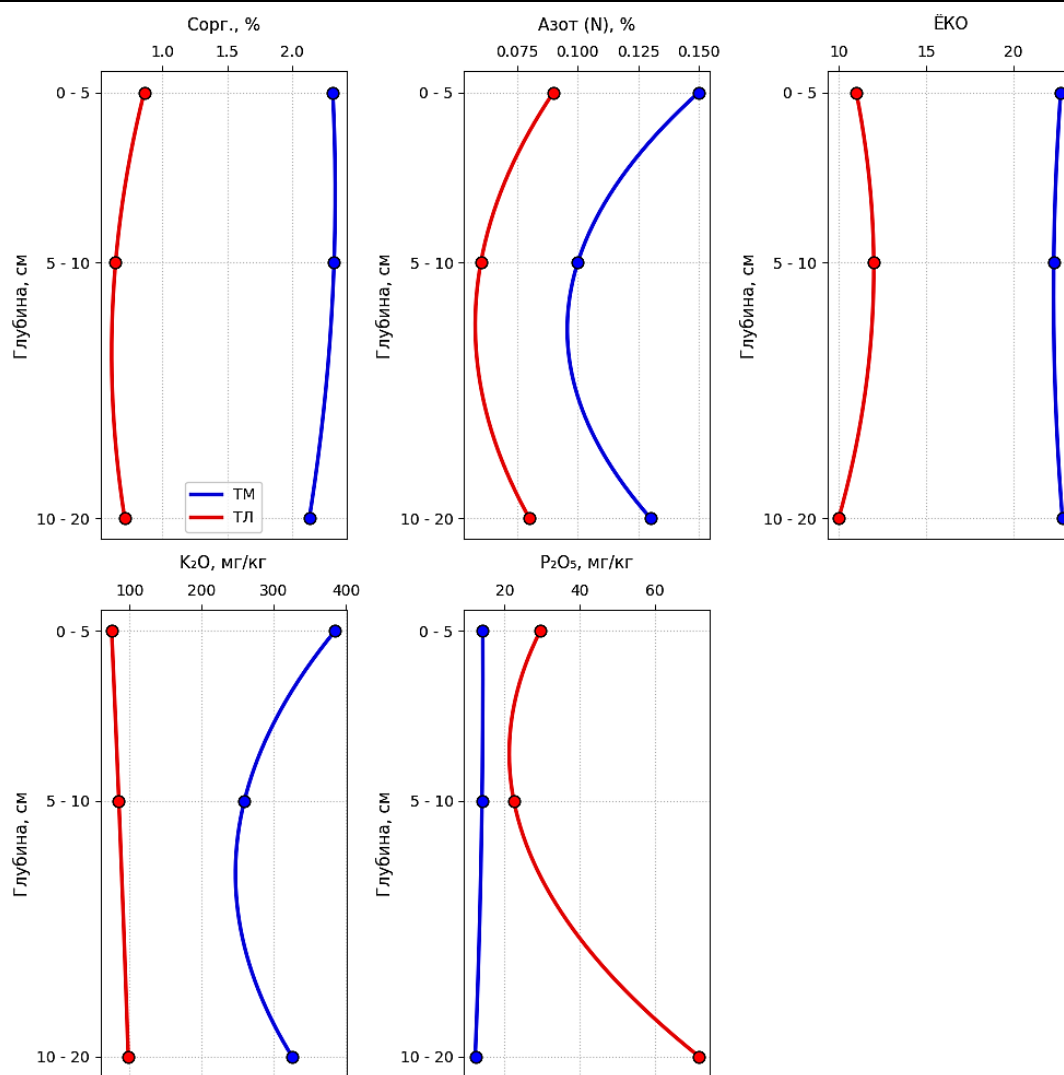


Рисунок 6.97– Основные агрохимические показатели:

ТМ – технозем модифицированный, участок № 11, ТЛ – технозем литогенный, участок № 12

Расчетная оценка почвенно-экологического состояния рекультивации участка с техноземами модифицированными оценивается как более благоприятная (ПЭС составляет 44 %) (таблица 6.24) [215].

Таблица 6.24 – Свойства почв участков, определяющие их специфичность по отношению к почвам ненарушенных участков

Тип почв	Глубина, см	Содержание		Плотность, г/см ³	К _{с.ф.г.} , %	К _{с.гум.} , %	К _{с.п.} , %	К _{с.рел.} , %	К _с , %
		физ. глины, %	С, %						
Технозем модифициров анный – 100 %	0 – 5	22,18	2,31	1,17	50	56	71	1	44
	5 – 10	21,43	2,32	1,81					
	10 – 20	19,12	2,13	1,29					
ПЭР, %	44								
Технозем литогенный – 100 %	0 – 5	20,98	0,86	1,5	48	18	69	1	34
	5 – 10	19,47	0,64	1,65					
	10 – 20	19,86	0,71	1,18					
ПЭР, %	34								

Благоприятные условия (содержание фракции физической глины, органического вещества) местообитания способствовали развитию растительного покрова (рисунки 6.98 – 6.101) [215].

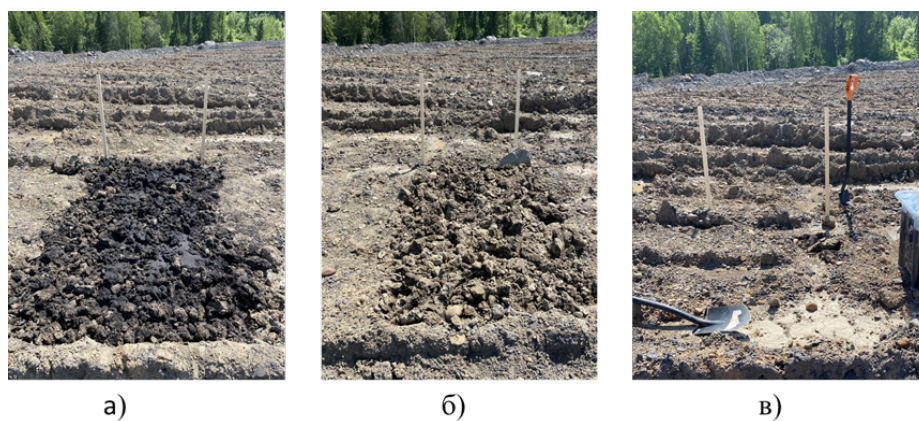


Рисунок 6.98 – Закладка экспериментальных микроделенок, 2023 г.:

- а) почвогрунты (ЗШО и окисленные каменные уголи) и четвертичные отложения II категории;
- б) четвертичные отложения II категории и гуматы калия (0,01 %);
- в) контрольной вариант из четвертичных отложений II категории



а)



б)



в)

Рисунок 6.99 – Развитие растительного покрова, 2023 г.:

а) техноземы модифицированные;

б) четвертичные отложения II категории и гуматы калия (0,01 %);

г) контрольный вариант из четвертичных отложений II категории



а)

б)

в)



Рисунок 6.100 – Развитие растительного покрова, 2024 г.

а) техноземы модифицированные;

б) четвертичные отложения II категории и гуматы калия (0,01 %);

г) контрольный вариант из четвертичных отложений II категории

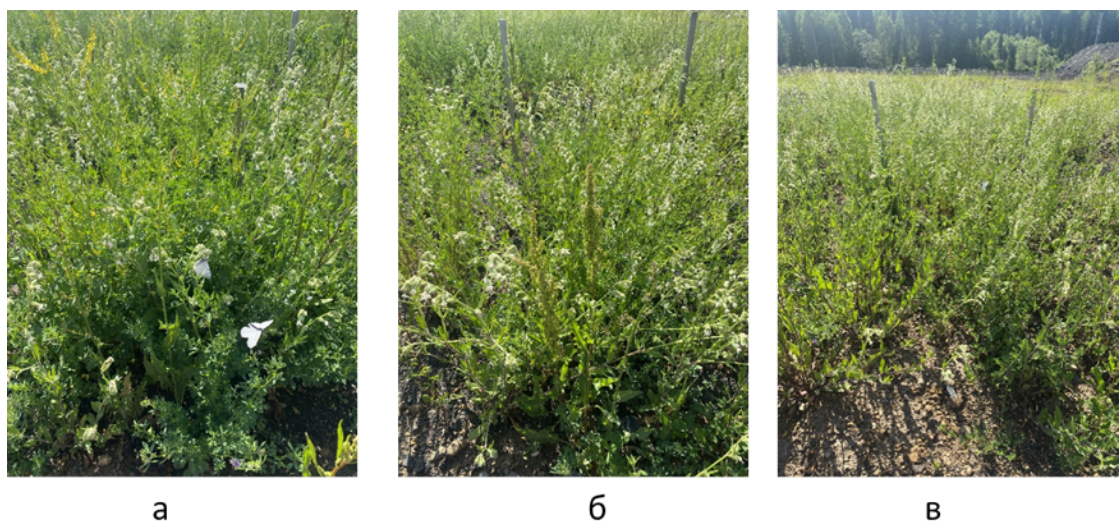


Рисунок 6.101 – Развитие растительного покрова, 2025 г.

- а) техноземы модифицированные;
- б) четвертичные отложения II категории и гуматы калия (0,01 %);
- г) контрольной вариант из четвертичных отложений II категории

Так, в 2023 г. зеленая фитомасса травянистого яруса технозема модифицированного составляла 6,21 ц/га, в 2025 г. – 25,46 ц/га. В сравнении с контролем (технозем литогенный) продуктивность травянистого яруса увеличилась практически в 4 раза. [215].

В 2025 г. видовой состав растений, помимо высеянной люцерны посевной (*Medicago sativa*), увеличился до 9 видов. На участке преобладают следующие виды: цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus*), донник жёлтый (*Melilotus officinalis*), донник белый (*Melilotus albus*), щавель ложносолончаковый (*Rumex pseudonatronatus*), трёхреберник непахучий (*Tripleurospermum inodorum*), люцерна посевная (*Medicago sativa*), люцерна серповидная (*Medicago falcata*), латук компасный (*Lactuca serriola*), смолёвка вильчатая (*Silene dichotoma*), клевер луговой (*Trifolium pratense*).

Создание техноземов модифицированных на основе техногенных ресурсов (золошлаковых материалы и окисленных каменных углей) и их внесение в составе 10 % в четвертичные отложения способствовало увеличению органического углерода в молодых почвах и повышению ёмкости

катионного обмена, а также активному развитию растительного покрова. Также развитие фитоценозов способствовало сглаживанию среднемесячных температур в почвах в летней период времени (рисунок 6.102) [215].

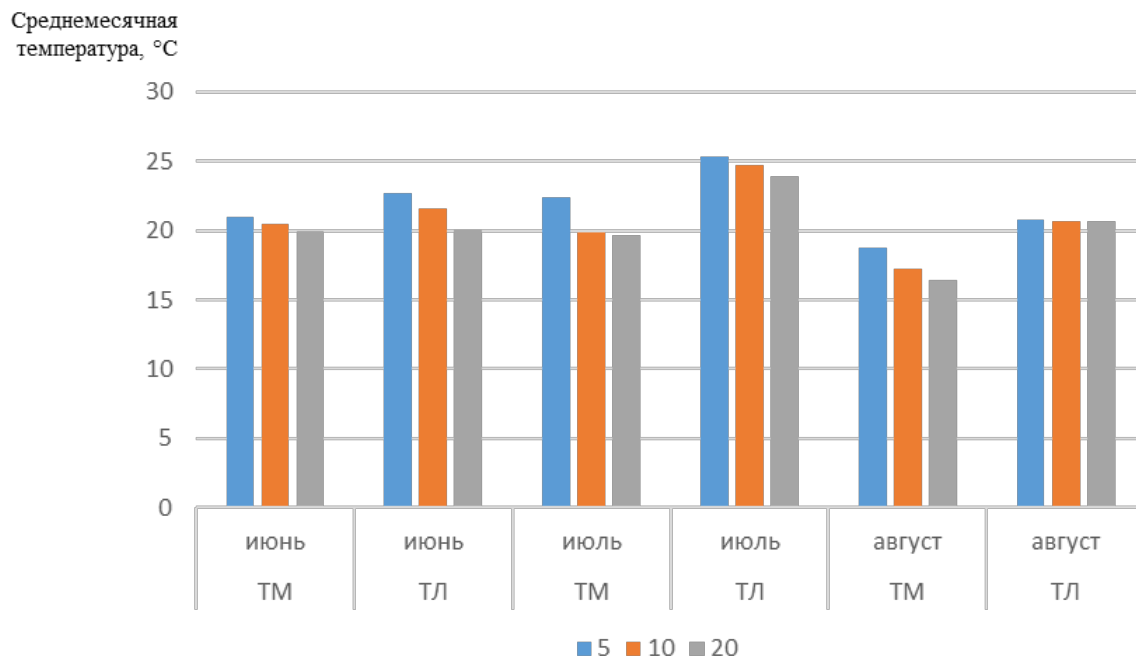


Рисунок 6.102 – Среднемесячные температуры на глубине 5, 10 и 20 см: ТМ – техноземы модифицированные, ТЛ – техноземы литогенные

Выводы по главе 6

На основании результатов исследований физических свойств техноземов и эмбриоземов показано, что в первый год (2023 г.) после формирования техноземов и эмбриоземов в профиле всех почв присутствуют каменистые отдельности. Доля фракции более 10 мм варьирует в широком диапазоне и в среднем составляет от 13 до 77 %. Содержание мелкозема изменяется от 3 до 44 %. Из результатов исследований плотности сложения техноземов и эмбриоземов следует, что показатели варьируют по профилю почв в широких пределах от 1,51 до 2,15 г/см³. Данные техноземы и эмбриоземы характеризуются как очень плотные почвы.

Выявлено, что практически во всех техноземах по профилю за два года функционирования почв наблюдается увеличение содержания мелкозема в

почвенном профиле. Особенно заметны изменения в ТГН (участок № 9), показатели плотности сложения в поверхностном слое (0 – 5 см) изменились с 1,65 до 1,23 г/см³. Показатели порозности почв закономерно увеличились. На некоторых участках полигона (участки №№ 5, 6 и 8) наблюдается уплотнение в верхних слоях, увеличение содержания каменистых фракций и снижение мелкозема.

Определено, что практически во всех техноземах по профилю за два года функционирования почв наблюдается существенное увеличение содержания мелкозема в почвенном профиле. В поверхностном слое (0 – 5 см) отмечается увеличение мелкозема в 1,13 – 2,60 раз. По результатам исследований гранулометрического состава отмечается изменение содержания физической глины в ТЛ (участок № 1) и ТГН (участок № 9). При пересчете на всю массу почвы содержание фракции физической глины по профилю возрастает в сравнении с первым годом функционирования техноземов (в слое 0 – 5 см составляет от 22,98 до 24,83 %). В соответствии с гранулометрическим составом поверхностные слои рассматриваемых техноземов характеризуются уже как суглинок легкий. В ЭИ (участок № 10), сложенным из смеси вскрышных и вмещающих пород, в профиле содержатся крупные каменистые отдельности (выше 90 %), а содержание мелкозема составляет менее 10 % от общей массы почвенного образца, существенной динамики по изменению физических свойств не наблюдается.

Установлено, что во всех техноземах уже в первые годы функционирования наблюдаются активные изменения физических свойств почв (особенно в верхних слоях). Эти изменения зависят от свойств литогенных ресурсов, используемых для формирования корнеобитаемого слоя, а также от активного влияния процессов физического выветривания

Изучение химических свойств техноземов и эмбриоземов показало, что исследуемые почвы по содержанию органического углерода характеризуются от низкого до среднего содержания. По распределению питательных веществ

в доступной форме техноземы и эмбриоземы представлены следующими величинами:

- по содержанию фосфора от очень низких (эмбриозем инициальный – до 14,03 мг/кг) до очень высоких (технозем гумусогенный недифференцированный – до 208,80 мг/кг);

- по содержанию калия практически все почвы характеризуются средней и высокой обеспеченностью. Во всех техноземах наблюдаются благоприятные показатели реакции почвенного раствора от нейтральной до слабощелочной. В эмбриоземах инициальных реакция почвенного раствора характеризуется как сильнощелочная и изменяется по почвенному профилю от 8,96 до 9,08.

Результаты исследований теплового режима молодых почв показали, что все изучаемые техноземы, в соответствии с классификацией теплового режима [166] относятся к сезоннопромерзающему типу. Этот факт обусловлен незначительным периодом развития древесной растительности, что способствует выдуванию снега с полигона, в свою очередь естественные почвы черновой тайги в соответствии с классификацией теплового режима являются непромерзающими [166]. Этому способствует теплый, изоляционный слой в виде снежного покрова, и отсутствие ветров в условиях тайги защищает почву от промерзания и потери тепла.

Оценив тепловой режим техноземов и эмбриоземов, установлено, что все почвы характеризуются более высокой обеспеченностью в сравнении с естественными почвами. Среднегодовая температура в поверхностных слоях, в сравнении с естественными почвами в аналогичных слоях, выше на 1,4 – 3,7 °С. Среднегодовая температура воздуха приземного слоя над полигоном выше на 1,2 °С, а в летний период (июль 2024 г.) выше на 3,4 °С, чем в аналогичных условиях естественных почв.

Показано, что тепловой режим ТГН по всем показателям приближен к естественным почвам, что обусловлено благоприятным минералогическим (преобладание глинистых минералов), фракционным и гранулометрическим

составами. Показано, что в течение всего вегетационного периода запасы влаги находились на высоком уровне, в диапазоне легкодоступной влаги НВ – ВРК.

Выявлено, что ЭИ в течение всего периода наблюдений за тепловым режимом имели положительные температуры. Сумма биологически активных температур ($\Sigma t > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) в поверхностном слое, в сравнении с естественными почвами, была выше на $963,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, а сумма положительных среднесуточных температур на $864\text{ }^{\circ}\text{C}$. В этих почвах в летний период времени наблюдалась максимальная амплитуда колебания температур по всему профилю. На тепловой режим ЭИ в летнее время оказывает существенное влияние высокая каменистость (доля фракции диаметром $<1\text{ мм}$ в поверхностном слое не более 5%), темно-серый цвет почв; минералогический состав (преобладание кварца), высокая плотность сложения (до $1,84\text{ г/см}^3$). Все перечисленные факторы влияют на нагрев поверхности почв и высокую теплопроводность. Также в течение всего вегетационного периода запасы влаги в ЭИ находились в диапазоне труднодоступной влаги ВЗ – ВРК, а в определенные запасы влаги снижались до уровня влажности завядания (ВЗ) и были в недоступной форме для растений. Неблагоприятные физические свойства ЭИ приводят к значительному нагреву и сильному иссушению поверхностных слоев ЭИ, что впоследствии приводит к нарастанию ксероморфизма. Тепловой режим данных почв в зимний период времени, вероятнее всего, связан с тем, что летом эти почвы накапливают тепло благодаря значительному уровню солнечного тепла, а зимой (мощность снежного покрова в марте 2024 г. составляла $55,3\text{ см}$) снежный покров защищает почву от промерзания.

Показано, что водный режим ТЛ, сформированный из четвертичных отложений, практически весь вегетационный период находился в диапазоне легкодоступной влаги для растений в диапазоне НВ – ВРК, за исключением нескольких месяцев (июль и август). Итак, температура поверхностного слоя (5 см) ТЛ 16.07.2024 г. в 15:00 составляла $34\text{ }^{\circ}\text{C}$, а 21.08.2024 г. в аналогичных условиях – $26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Незначительный период функционирования и значительный

нагрев поверхности техноземов способствовал иссушающему эффекту. Однако, несмотря на то, что в почвенном профиле ТЛ низкое содержание мелкозема (от 14 до 63 %), запасы влаги в течение всего периода не опускались ниже предела влажности завядания (ВЗ), а в предел, при котором влага в почве для растений становится недоступной, происходит устойчивое завядание растений. Этот факт свидетельствует о влиянии минералогического (наличие глинистых минералов) и гранулометрического составов (содержание фракции физической глины) на водный режим техноземов.

Анализ результатов исследования почвенно-экологического состояния участков полигона показал, что наиболее благоприятные условия созданы на участке с ТГН (участок № 9), сформированные из смеси ПСП и четвертичных отложений I категории (ПЭС 50 %). Почвенно-экологическое состояние участков полигона с почвами ТЛ, сформированные из четвертичных отложений II категории, в зависимости от содержания фракции физической глины, органического вещества и плотности сложения за три года функционирования изменяются в диапазоне от 22 до 37 %.

На участках, где корнеобитаемый слой был сложен из основных вскрышных пород (смесь песчаников, алевролитов и аргиллитов) почвенно-экологическое состояние, несмотря на 20-летний период функционирования почв, не достигает и 30 %, соответственно в структуре почвенного покрова фиксируются только ЭОА и ЭИ, причем доля последних является преобладающей.

Следует отметить, что на ПЭС участков существенное влияние оказывает сформированный на технологическом этапе ландшафт (рельеф). Крутизна склона отвала влияет на накопление мелкоземистой фракции в профиле эмбриоземов, миграцию элементов питания, температурный и водный режимы. Для благоприятного развития фитоценозов и почвообразовательного процесса эти факторы играют значимую роль.

Для повышения почвенно-экологической эффективности рекультивации нарушенных земель на склоновых поверхностях отвалов необходимо

выполнить их террасирование в комплексе с нанесением потенциально плодородных пород и последующей биологической рекультивацией. Только целенаправленное формирование корнеобитаемого горизонта на базе спланированного рельефа является основой для успешного почвообразования и развития растительного покрова [135].

Показано, что фитоценозы на экспериментальных площадках экологического полигона в настоящее время претерпевают начальную стадию сукцессии. При этом уже на второй год после создания искусственных почв (техноземов) и посадки растений наблюдается слабая дифференциация площадок по видовому составу растений (без учета высаженных древесных и кустарниковых растений), обусловленная на данном этапе сукцессии в большей степени физическими и агрохимическими свойствами состава техноземов.

Результирующий показатель по запасам углерода в пулах биомассы растений (включая надземную и подземную древесную биомассу, надземную и подземную биомассу травянистой растительности, и подстилки) и молодых почв можно заключить, что на всех исследованных участках суммарное количество углерода в 2025 г. несколько ниже значений, полученных за 2024 г. Суммарное количество углерода в 2024 г. на площадках экологического полигона варьирует в пределах от 23,447 (участок № 3) до 67,696 т/га (участок № 9), среднее 42,306 т/га, а в 2025 г. – от 22,300 (участок № 3) до 65,435 т/га (участок № 9), среднее 45,888 т/га.

Общий запас углерода на экспериментальных площадках экологического полигона в 2025 году (по сравнению с 2024 годом) немного снизился, в частности, в среднем в 2024 году с 42,306 т/га до 41,631 т/га в 2025 году.

Многолетние актуальные результаты исследований изменений прироста лесных культур будут полезны для расширения ассортимента видового разнообразия в проектах рекультивации земель (биологический этап) на разных искусственных почвах – техноземах. Расширение видового разнообразия, особенно лиственных культур таких, как черемуха

обыкновенная (*Padus avium*), рябина сибирская (*Sorbus sibirica*), калина обыкновенная (*Viburnum opulus*), будет способствовать созданию кормовой базы для птиц и животных, тем самым увеличивать биологическое разнообразие на техногенных ландшафтах. Кроме того, полученные данные можно использовать при выборе видового состава растений для разработки климатических проектов на техногенных ландшафтах в горно-таежной подзоне Кузбасса.

В работе установлено, что создание ТМ на поверхности техногенных ландшафтов на основе техногенных ресурсов для рекультивации нарушенных земель будет способствовать накоплению органического углерода, повышению ЁКО в почвах и развитию растительного покрова.

Следует отметить, что такой способ рекультивации нарушенных земель особенно актуален для территорий с дефицитом плодородного слоя почвы, четвертичных отложений I категории (покровных суглинков), низким содержанием органического углерода в естественных почвах, четвертичных отложениях, а также в районах с избыточным увлажнением, так как за счет увеличения органического углерода и ЁКО элементы питания для растений будут удерживаться и не вымываться в нижние слои почв.

Глава 7 Экспериментальные исследования технологии рекультивации с использованием техногенных ресурсов (отходов углеобогащения) и оценка их влияния на развитие растительного и почвенного покрова

7.1 Состав молодых почв, сформированных на отходах углеобогащения и их морфологическая диагностика

Для оценки влияния отходов углеобогащения на развитие растительного и почвенного покрова были созданы экспериментальные участки (рисунок 7.1). Они сформированы непосредственно на отходах для оценки возможности их использования как техногенного ресурса, пригодного для экологически безопасного размещения в выработанных пространствах карьеров.

На участках рекультивации сформированы искусственные почвы – техноземы.

Отходы углеобогащения представлены смесью из породы после углеобогащения и отходов флотационного обогащения – «кек», которые были размещены в выработанном пространстве карьера. На их поверхности сформированы участки рекультивации. Участки различаются возрастом после выполнения рекультивационных работ (от 4 до 10 лет) и технологией формирования искусственных почв – техноземов. В качестве контрольного варианта был выбран участок с естественными почвами – черноземами выщелоченными [216 – 219].

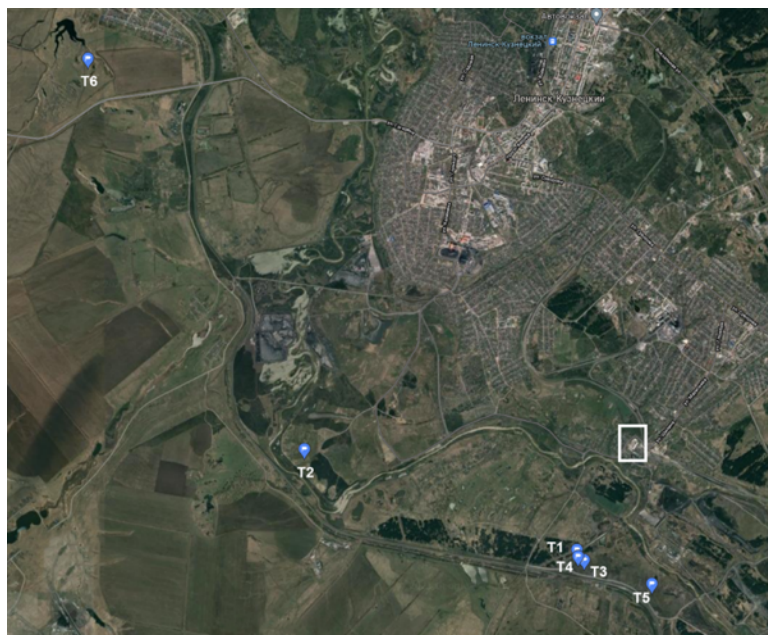


Рисунок 7.1 – Расположение участков рекультивации: участок № 1/Т 1 – ЭИ; участок № 2/Т 2 – ТЛ; участок № 3/Т 3 – ТГН; участок № 4/Т 4 – ТГН; участок № 5/Т 5 – ТГД; контрольный участок – ЧВ (точка 6)

Экспериментальный участок № 1/Т 1

Участок на отходах углеобогащения (верхний корнеобитаемый слой представлен отходами углеобогащения) – ЭИ, возраст участка более 10 лет (рисунок 7.2).



Рисунок 7.2 – Участок № 1/Т 1, ЭИ



S_1 0 – 8 см. Серый неоднородный по окраске, с вкраплениями более светлых и темных пятен, влажный, слегка уплотнен, неясно выраженной комковатой структуры. Переход постепенный по цвету и плотности.

S_2 8 – 20 см. Темно-серый неоднородный по окраске, с включениями более темных пятен, свежий, тяжелосуглинистый, плотный, неясно выраженной комковатой структуры. Встречаются вкрапления ржавого цвета.

Экспериментальный участок № 2/Т 2

Верхний, корнеобитаемый слой участка сформирован путем нанесения на поверхность ППП (гранулометрический состав – легкий суглинок и супесь) – ТЛ, возраст участка – 4 года (рисунок 7.3).



Рисунок 7.3 – Точка № 2/Т 2, ТЛ



I 0 – 12 см. Светло-бурый, с небольшой примесью ПСП, структура слабовыраженная комковато-пылеватая, супесь, рыхлый, встречаются единичные корни, переход постепенный по плотности.

II 12 – 22 см. Бурый с примесью суглинистых линз, связанный песок, бесструктурный, уплотненный, резкий переход по всем морфологическим признакам.

D 22 – 30 см. Тёмно-серый, очень плотный, отходы углеобогащения.

Экспериментальный участок № 3/Т 3

Верхний, корнеобитаемый слой участка сформирован путем нанесения на поверхность смеси ППП (лессовидных суглинков) и ПСП – ТГН, возраст участка – 9 лет (рисунок 7.4).



Рисунок 7.4 – Точка № 3/Т 3, ТГН



А₁ 1 – 15 см. Тёмно-серый, комковатый, тяжелосуглинистый, глыбистый, сырой, плотный.

II 16 – 33 см. Бурый, включения ПСП, комковато-ореховатый, тяжелосуглинистый, уплотненный, корни до породы.

D 33 – 50 см. Смесь отходов углеобогащения, плотный, корней нет.

Экспериментальный участок № 4/Т 4

Верхний, корнеобитаемый слой участка сформирован путем нанесения на поверхность ПСП с примесью ППП (лессовидных суглинков) – ТГН возраст участка – 9 лет (рисунок 7.5).



Рисунок 7.5 –Точка № 4/Т 4, ТГН



А_d 0 – 11см. Серый, включения горизонта В, комковато-пылеватый, среднесуглинистый, присутствует примесь техногенной пыли, рыхлый, свежий.

А₁ 11 – 30 см. Темно-серый, бурые включения горизонта В, комковатый, уплотненный, по плотности переход постепенный, свежий.

III 30 – 37 см. Темно-серый с бурыми пятнами, комковатый, среднесуглинистый, плотный, свежий, единичные корни травянистой растительности, переход резкий.

D 37 – 50 см. Темно-серый, сильно плотный, отходы углеобогащения, присутствуют корни.

Экспериментальный участок № 5/Т 5

Верхний, корнеобитаемый слой участка сформирован путем нанесения на поверхность ППП, представленных лессовидными суглинками, последующим послойным перекрытием их ПСП (рисунок 7.6) – ТГД. Возврат участка – 10 лет.



Рисунок 7.6 – Точка № 5/Т 5, ТГД



A_d 0 – 8 см. Темно-серый, комковато-пылеватый, среднесуглинистый, свежий, переход по количеству корней.

A_1 8 – 25 см. Темно-серый, комковато-пылеватый, среднесуглинистый, сухой, граница резкая по всем морфологическим показателям.

III 25 – 35 см. Светло-бурый с включениями угольных частиц, комковатый, плотный, среднесуглинистый, резкий переход по плотности и окраске.

D 35 – 50 см. Темно-серый, сильно плотный, шахтная порода, присутствуют корни.

В качестве контроля был выбран участок с естественными почвами – черноземами выщелоченными (точка 6) (рисунок 7.7).



Рисунок 7.7 –Точка 6, чернозем выщелоченный. Выровненная поверхность.

Остепненный луг



А_d 0 – 6 см. Серый, сухой, зернисто-пылеватый, среднесуглинистый, уплотнен. Переход по количеству корней.

А₁ 6 – 33 см. Серый, сухой, рыхлый, среднесуглинистый, комковатой структуры. Обильно пронизан корнями. Переход постепенный по цвету.

АВ 33 – 44 см. Темно-бурый, сухой, среднесуглинистый, уплотнен, комковатой структуры. Встречаются единичные корни. Переход постепенный по цвету. Граница волнистая.

В 44 – 60 см. Бурый, сухой, среднесуглинистый, плотный, крупно-комковатой структуры. Встречаются единичные корни. Переход по вскипанию HCl.

7.2 Содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в почвах, сформированных на отходах углеобогащения

Результаты исследования показали, как полициклические ароматические углеводороды распределяются и накапливаются в изученных объектах. Специфика этого процесса прослеживается как в свежих отходах обогащения (включая отходы флотационного обогащения «кек»), так и в молодых почвах (техноземах и эмбриоземе инициальном), сформированных на данном субстрате.

Также впервые была проведена оценка их содержания, распределения и экологической опасности для окружающей среды при длительном пребывании на открытом пространстве.

Суммарное содержание полиаренов в исследуемых объектах варьирует в широких пределах от 25,5 до 10964,0 нг/г. Минимальные концентрации свойственны естественным почвам (ЧВ) 25,5 – 37,7 нг/г (рисунок 7.8, а). Дифференциация ПАУ в выщелоченных черноземах характеризуется

некоторым снижением их содержания вниз по профилю вместе со снижением доли органического углерода в почвах. Отмечаемая тенденция соответствует нормальному распределению ПАУ в почвах, не испытывающих влияния антропогенных источников загрязнения [220, 221]. Максимальная концентрация ПАУ (10964,0 нг/г) была зафиксирована в пробах отходов флотации «кек», данный факт обусловлен содержанием общего углерода (44 %), значительным содержанием мелкодисперсной фракции и использованием флотореагентов в процессе обогащения угля. В складированных в отвалы отходах углеобогащения также отмечается высокое содержание полиаренов (683,5 нг/г). При этом их концентрация в 16 раз меньше, чем в отходах флотации «кек» [222].

Высокие значения содержания ПАУ свойственны рекультивированным почвам – эмбриоземам и техноземам. Суммарное содержание полиаренов в ЭИ (точка 1), сформированном на отходах углеобогащения, достигает 2248,8 нг/г (рисунок 7.8, б). Более чем трехкратное увеличение содержания ПАУ по сравнению со свежими отходами угледобычи свидетельствует о постепенной трансформации пород в отвалах и высвобождении из них полициклических ароматических углеводородов. Содержание общего углерода изменяется с глубиной от 16,3 до 26,5 % [222].

Повышенное содержание полиаренов зафиксировано также в горизонтах, сложенных отходами углеобогащения на участках рекультивации. В исследуемых техноземах увеличение содержания ПАУ отмечено под нанесенными горизонтами ППП и ПСП (рисунок 7.8, в). В ТЛ и ТГН, верхние горизонты которых сложены ППП (точка 2) или смесью ППП и ПСП (точки 3 и 4), концентрация ПАУ двукратно превышает значения в отходах углеобогащения, достигая 1418,7 нг/г (рисунок 7.8, г, д). Содержание общего углерода в ТГН увеличивается с глубиной по профилю и составляет от 9,10 до 20,1 % [222].

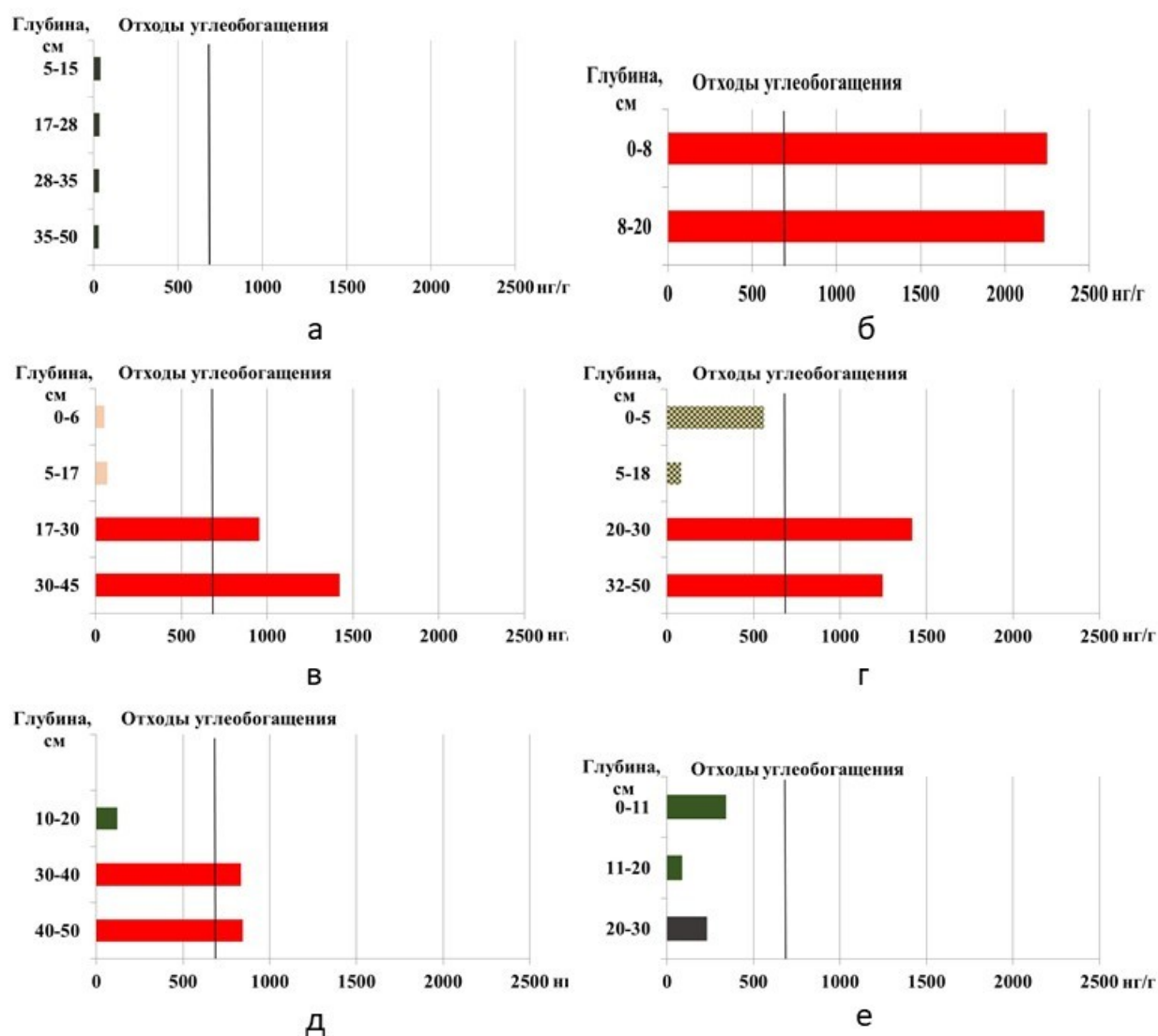


Рисунок 7.8 – Суммарное содержание ПАУ в: а – в верхней части профиля ЧВ (Т6); б – ЭИ (Т1); в – ТЛ (Т2); г – ТГН (Т4); д – ТГН (Т3); е – ТГД(Т5)

Отмеченные особенности распределения ПАУ в ТГН (точки 3 и 4) свидетельствуют также и о том, что преобразование отходов происходит и в их нижних горизонтах. При этом более низкие по сравнению с ЭИ концентрации (в среднем в 1,5 – 2,0 раза) говорят о том, что под нанесенными горизонтами ППП, смеси ППП и ПСП на глубине более 20 см процессы высвобождения ПАУ протекают менее интенсивно.

Менее выражена отмечаемая тенденция в ТГН (точка 3), где содержание ПАУ нижней части профиля превышает значения отходов углеобогащения только в 1,2 раза (рисунок 7.8, д). В ТГД (точка 5), где отходы от поверхности, помимо слоя ПСП, экранируют также слой ППП. Концентрация полиаренов в

нижней части профиля тоже ниже и не достигает значений отходов (рисунок 7.8, г) [222].

Таким образом, установлено, что рекультивация нарушенных земель, осуществляемая при послойном нанесении на поверхность суглинистого (ППП) и гумусосодержащего материала (ПСП), способствует консервации отходов углеобогащения и предотвращает их попадание в окружающую среду.

Еще одной спецификой во внутрипрофильном распределении ПАУ в исследуемых техногенных объектах является увеличение их концентрации в верхних горизонтах. Особенно это проявляется в ТГД (точка 5), где содержание ПАУ, соответственно, в 7 и 4 раза выше в верхних горизонтах, чем в нижележащих. Содержание общего углерода варьирует с глубиной (на глубине 0 – 11 см составляет 4,74 %; на глубине 20 – 30 см – 1,10 %). Максимальное содержание общего углерода фиксируется в горизонтах, сложенных отходами углеобогащения – 11,2 %. При этом концентрация полиаренов остается существенно ниже по сравнению с отходами углеобогащения. Раннее накопление ПАУ в почвах фиксировалось также и для угледобывающих районов Кузбасса и Новосибирской области [223, 224]. В проведенных исследованиях по оценке влияния автодорог на состояние приземного слоя атмосферы территорий угольных разрезов было показано накопление в снеге ПАУ вместе с углистыми частицами [225, 226]. Очевидно, что на исследуемой территории вместе с отходами углеобогащения присутствуют также атмосферные источники поступления ПАУ в рекультивированные почвы.

Результаты исследований показали, что в образцах доминируют легкие, 2- и 3-ядерные соединения. Доля легких ПАУ составляет от 61,9 до 89,4 %. Соотношение легких и тяжелых полиаренов колеблется в пределах 0,2 – 0,6. Оно уменьшается в отходах углеобогащения, отход флотационного обогащения «кек» и нижней части профиля зональной почвы. При этом в горизонтах, сложенных отходами, содержание тяжелых ПАУ увеличивается на порядок (таблица 7.1) [222].

Доминирующим среди ПАУ является на двухъядерный углеводород нафталин, доля которого в техногенных почвах варьирует в интервале от 26,3 до 68,5 %. При этом максимум, как и сумма ПАУ, приходится на «кек» и верхние горизонты ЭИ. Минимальные значения двухъядерных ПАУ нафталина отмечаются в гумусированных горизонтах техноземов и естественных почв (таблицы 7.1 – 7.2). Учитывая то, что нафталин является наиболее летучим полиареном [227 – 229], полученные результаты свидетельствуют о том, что отходы углеобогащения являются его источниками в техногенных почвах. По всей видимости, темпы высвобождения нафталина в процессе преобразования пород превышают темпы улетучивания [222].

Таблица 7.1 – Состав и соотношение групп ПАУ

Наименование	Глубина, см	Содержание групп ПАУ по количеству ядер, в %					ТПАУ/ЛПАУ*	Б(а)Пэкв, нг/г
		2	3	4	5	6		
ОУ**	–	53,9	23,5	13,4	6,9	2,3	0,3	31,1
КЕК	–	68,5	20,9	7,3	3,0	0,3	0,1	166,6
Т1	0 – 8	56,0	25,0	13,4	4,9	0,7	0,2	59,6
	8 – 20	52,0	27,3	15,1	4,9	0,7	0,3	62,4
Т2	0 – 6	53,2	27,6	15,5	3,5	0,3	0,2	0,7
	6 – 17	35,2	33,1	21,8	8,8	1,0	0,5	1,8
	17 – 30	53,1	28,8	12,9	4,4	0,9	0,2	23,9
	30 – 45	55,0	27,4	12,0	4,6	1,0	0,2	38,3
Т3	10 – 20	47,4	32,2	17,2	2,7	0,5	0,3	2,2
	30 – 40	26,4	37,0	25,2	9,5	1,9	0,6	45,0
	40 – 50	31,2	35,8	23,2	8,4	1,5	0,5	40,1
Т4	0 – 5	29,4	32,5	25,2	11,1	1,8	0,6	32,7
	5 – 18	32,5	39,8	22,1	4,6	1,0	0,4	2,4
	20 – 30	41,4	31,5	20,4	5,8	0,9	0,4	49,2
	32 – 50	26,3	40,7	23,7	8,2	1,2	0,5	56,8
Т5	0 – 11	36,7	30,8	23,7	7,5	1,2	0,5	13,7
	11 – 20	32,5	34,7	25,9	5,8	1,2	0,5	3,1
	20 – 30	36,0	32,6	23,4	7,0	1,0	0,5	9,7
Т6	5 – 15	31,8	36,0	26,2	4,7	1,3	0,5	1,0
	17 – 28	40,7	35,6	21,6	1,9	0,2	0,3	0,4
	28 – 35	33,4	41,7	23,7	1,2	0	0,3	0,3
	35 – 50	52,3	33,4	14,3	0	0	0,2	0,1

* ТПАУ – сумма тяжелых (высокомолекулярных, 4 – 6 ядерных) ПАУ; ЛПАУ – сумма легких (низкомолекулярных, 2 – 3 ядерных) ПАУ;

** ОУ – отходы углеобогащения.

Для исследований состава полиаренов был осуществлен кластерный анализ. Кластерный анализ, проводимый с использованием индекса Жаккара и применением метода парных групп, обособил отходы углеобогащения и флотационного обогащения «кек». В отдельные кластеры были выделены образцы естественных почв (точка 6). Образцы техногенных почв были объединены в самостоятельную подгруппу ЭИ (точка 1), отличающуюся от остальных максимальным содержанием ПАУ (рисунок 7.9). В отдельную подгруппу обособились образцы нижних горизонтов ТЛ (точка 2). В группу с одинаковым коэффициентом сходства вошли все образцы ТГН (точка 4) и образцы нижних горизонтов ТГН (точка 3), а также образцы из верхнего горизонта ТГД (точка 5) [222].

Выявлено, что обособление ЭИ (точка 1) связано с более активным преобразованием органического вещества отходов углеобогащения. Техноземы как дифференцированные (точка 5), так и недифференцированные (точки 3, 4), объединяются в одну группу, в которую не входят обедненные органическим веществом верхние горизонты техноземов литогенных (точка 2). В этой группе очень близкую связь имеют образцы нижних горизонтов почв, представленных отходами углеобогащения, и верхние горизонты техноземов, где было зафиксировано влияние атмосферных источников ПАУ [222].

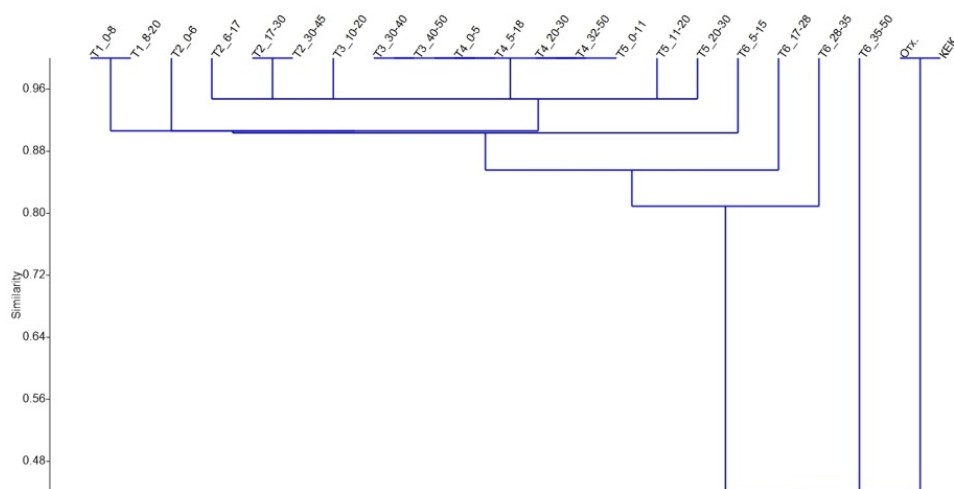


Рисунок 7.9 – Дендрограмма иерархической группировки объектов исследований (индекс Жаккара, метод парных групп)

Из исследований методом главных компонент выявлено, что тесную положительную связь с первой главной компонентой имеют все тяжелые ПАУ, начиная с Pyr (рисунок 7.10). Обратную, но тоже сильную корреляцию с первой главной компонентой демонстрирует Nap. Вторая компонента тесно связана с легкими полиаренами, а также Flt и Pyr. Третья компонента слабо коррелирует с Ant и имеет обратную сильную корреляционную связь с Phe. Каждый из исследуемых профилей имеет свою характерную локализацию. Так, образцы ЭИ (точка 1), объединенные вместе с отходами углеобогащения и отходом флотационного обогащения «кек», занимают между ними промежуточную позицию, находясь практически посередине. Это свидетельствует о том, что процессы образования ПАУ в эмбриоземах приближены по свойствам к отходам флотации «кек». Очень близки к эмбриоземам инициальные образцы нижней части почв техноземов литогенных (точка 2), что указывает на аналогичность процессов преобразования органического вещества в этих почвах [222].

Рассматривая положение описываемых почв (точки 1 и 2) в пространстве главных компонент, отмечается, что они, так же, как и естественные почвы (чернозем выщелоченный, точка 6), находятся в области отрицательной корреляции первой главной компоненты. При этом локализацию областей техногенных почв в большей степени определяет Nap, чернозема – Asu и Fly (рисунок 7.10).

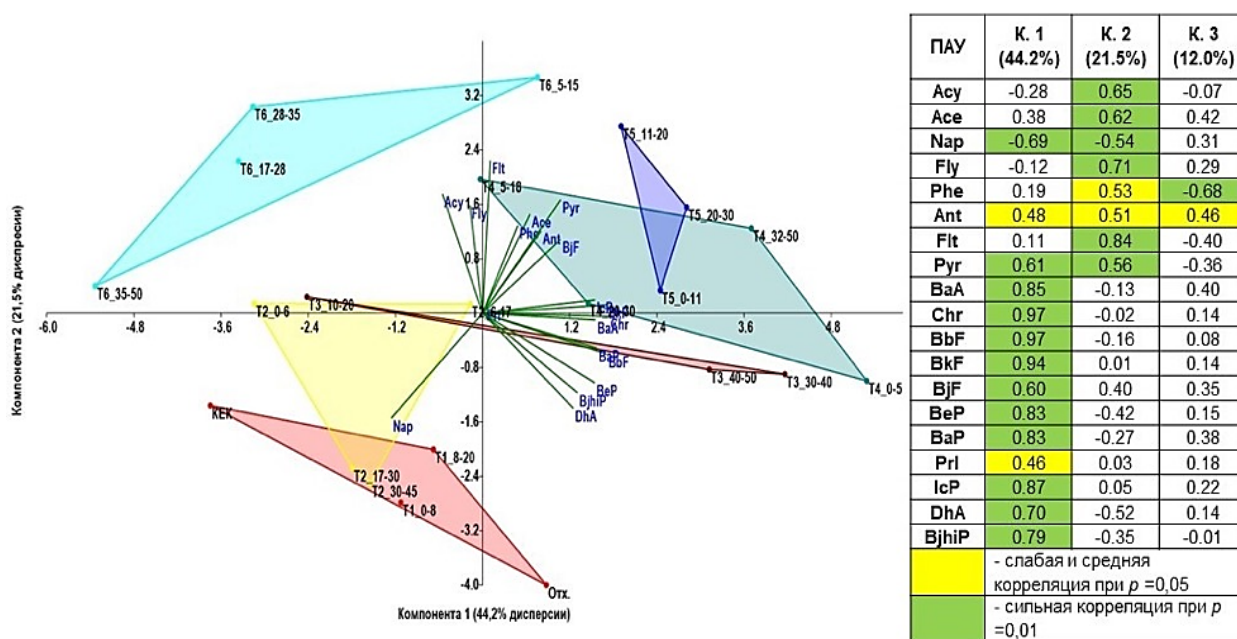


Рисунок 7.10 – Распределение объектов исследований в пространстве двух главных компонент

Практически все пробы гумусосодержащих техноземов (точки 3, 4 и 5) находятся в области положительной корреляции с первой главной компонентой, которая зависит от тяжелых ПАУ. Такую локализацию, по всей видимости, определяет, с одной стороны, влияние атмосферных источников ПАУ. С другой стороны, фиксируемая конфигурация областей техноземов может быть обусловлена наличием в них органического вещества педогенной природы (гумуса ПСП), которое в отличие от черноземов не находится в равновесном состоянии с внешними условиями. При формировании техноземов плодородный слой почв был предварительно складирован и впоследствии перенесен на поверхность техногенных ландшафтов, эти процессы могут сопровождаться дегумификацией органического вещества. Это также обуславливает отличия состава ПАУ черноземов и верхней части почв исследуемых гумусосодержащих техноземов. Кроме того, при формировании техноземов могли быть использованы плодородные горизонты не только черноземов выщелоченных, но и аналогичные им по содержанию (но не составу) гумуса горизонты серых лесных, лугово-черноземных, черноземно-луговых или луговых почв.

Оценка экологической опасности исследуемых почв проводилась по бенз(а)пиреновому эквиваленту токсичности (Б(а)Пэкв). Этот показатель рассчитывается для каждого исследуемого образца путем умножения концентрации канцерогенных ПАУ на коэффициент токсичности, выраженный через бенз(а)пиреновый эквивалент [230, 231]. Рассчитанный коэффициент токсичности в исследуемых почвах варьировал от 0,1 до 62,4 нг/г. Для отходов углеобогащения и продукта флотации «кек» Б(а)Пэкв составил, соответственно, 31,1 и 166,6 нг/г [222].

В почвах наиболее высокие значения коэффициента были зафиксированы в ЭИ (точка 1) и нижних горизонтах техноземов (горизонт D, сложенный отходами углеобогащения) – от 40,1 до 62,4 нг/г. В целом, можно отметить, что низкое содержание тяжелых ПАУ в исследуемых почвах определяет их незначительную токсичность. Полученные значения для техногенных почв Б(а)Пэкв соответствуют более ранним результатам для ряда европейских городов [232, 233] и отвалов угольных разрезов Кузбасса [224], для которых интервал разброса коэффициентов составил 20 – 650 нг/г. В то же время бенз(а)пиреновый эквивалент токсичности исследуемых почв в разы ниже значений безопасного уровня, установленного для почв Китая (100 нг/г) [234] и Канады (600 нг/г) [231]. По этим нормативам почвы исследуемых объектов относятся к не токсичным.

7.3 Геохимическая характеристика почв на рекультивированных участках

Для оценки геохимического статуса рекультивированных участков и возможного загрязнения исследуемых почв токсичными элементами было проведено исследование содержания подвижных форм основных токсичных элементов, а также содержание химических элементов в валовой форме горизонта D (отходы углеобогащения) техноземов и эмбриозема инициального.

Проведенные исследования показали, что вещественный состав почв и отходов, предопределяющий их свойства, влияющий на выбор направлений возможного использования и определяющий их экологическую безопасность, характеризуется, как было показано ранее, достаточно высоким содержанием углистых частиц, которые обуславливают содержание общего углерода, а также тех элементов, которые входят в состав угля и вмещающих пород, извлеченных при обогащении [235].

Содержание токсичных элементов в подвижных формах (кобальт, марганец, медь, никель, свинец, цинк) не превышает нормируемых показателей для зональных типов почв (таблица 7.2).

Таблица 7.2 – Содержание подвижных форм токсичных и химических элементов [235]

Глубина, см	Металлы мг/кг					
	Cu	Zn	Pb	Mn	Co	Ni
Точка 1 ЭИ						
0 – 8	1,534	7,853	1,27	70,9	0,782	0,898
8 – 20	1,553	6,633	1,935	43,5	1,177	0,936
Точка 2 ТЛ						
0 – 6	0,170	0,594	1,418	65,6	<0,1	<0,1
6 – 12	0,274	0,425	1,110	40,0	<0,1	<0,1
12 – 28	0,328	0,447	1,412	60,6	<0,1	0,114
28 – 45	0,619	3,495	1,831	91,7	0,479	0,719
Точка 3 ТГН						
0 – 10	0,153	3,199	1,632	57,7	<0,1	0,231
20 – 30	0,570	0,716	2,741	96,6	<0,1	0,137
30 – 40	0,523	0,520	2,305	85,0	<0,1	<0,1
40 – 50	1,069	3,409	2,807	100,8	0,244	0,484
Точка 4 ТГН						
0 – 5	0,214	3,312	0,742	11,1	<0,1	<0,1
5 – 18	0,235	3,455	0,554	16,0	<0,1	<0,1
20 – 30	0,291	8,452	1,304	57,6	<0,1	0,196
Точка 5 ТГД						
0 – 11	0,147	1,391	1,540	27,5	<0,1	0,188
20 – 30	0,637	0,464	2,554	73,7	<0,1	0,307
32 – 50	0,581	4,965	3,012	98,9	0,668	1,063
Чернозем выщелоченный (контроль)						
5 – 15	0,168	4,066	1,253	14,8	<0,1	<0,1
17 – 28	0,208	0,476	1,012	18,6	<0,1	<0,1
28 – 35	0,118	0,351	1,031	11,7	<0,1	0,181
35 – 50	0,166	0,549	0,933	8,8	<0,1	0,413
ПДК	3,0	23,0	6,0	140	5,0	4,0

Анализ содержания токсичных элементов в валовой форме в техноземах и эмбриоземе показывает, что практически все элементы содержатся в концентрациях ниже ПДК, ОДК и не превышают нормируемых показателей для зональных типов почв. Однако отмечается превышение ПДК для валовых форм мышьяка (рисунки 7.11 – 7.13) [235].

Результаты многочисленных исследований показывают, что мышьяк и ртуть являются высокоуглефильными элементами в углях. Авторы отмечают, что в углях Кузнецкого бассейна типоморфными элементами являются мышьяк и селен. Также в углях Кузбасса отмечено накопление таких микроэлементов, как ванадий и свинец [187, 236 – 241].

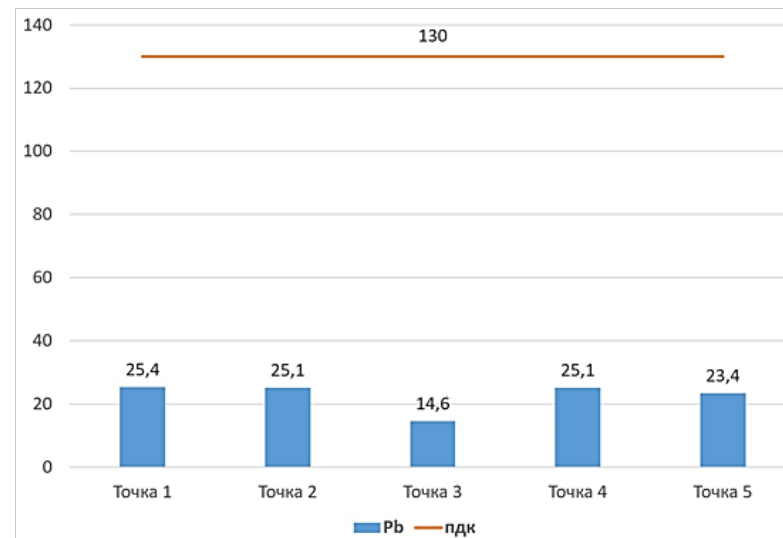
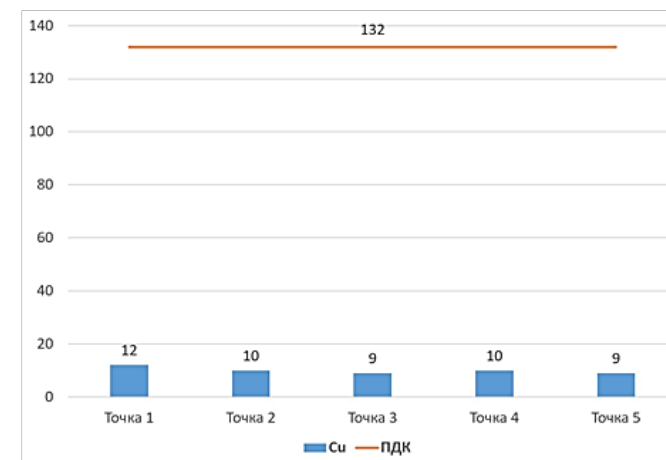
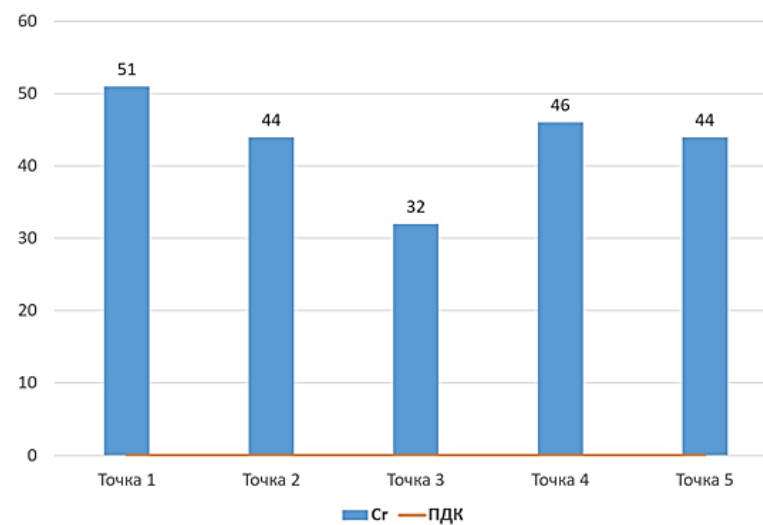
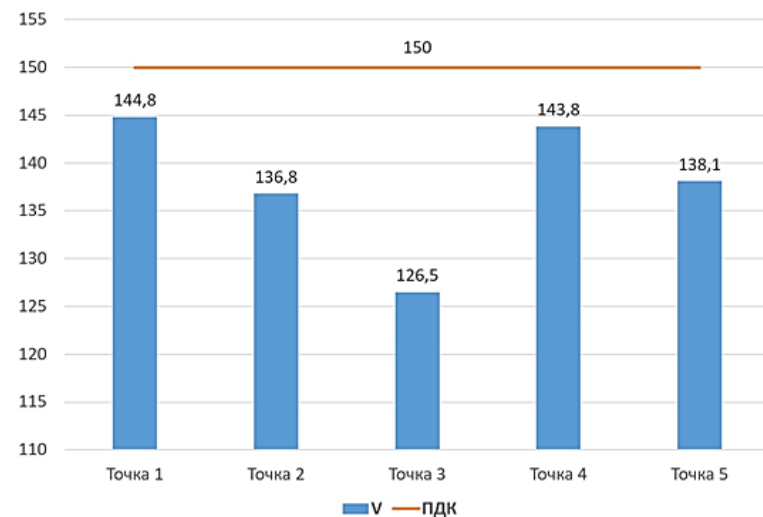


Рисунок 7.11– Диаграмма распределения элементов в исследуемых почвах:

1 – ЭИ, 2 – ТЛ, 3 –ТГН, 4 – ТГН, 5 – ТГД

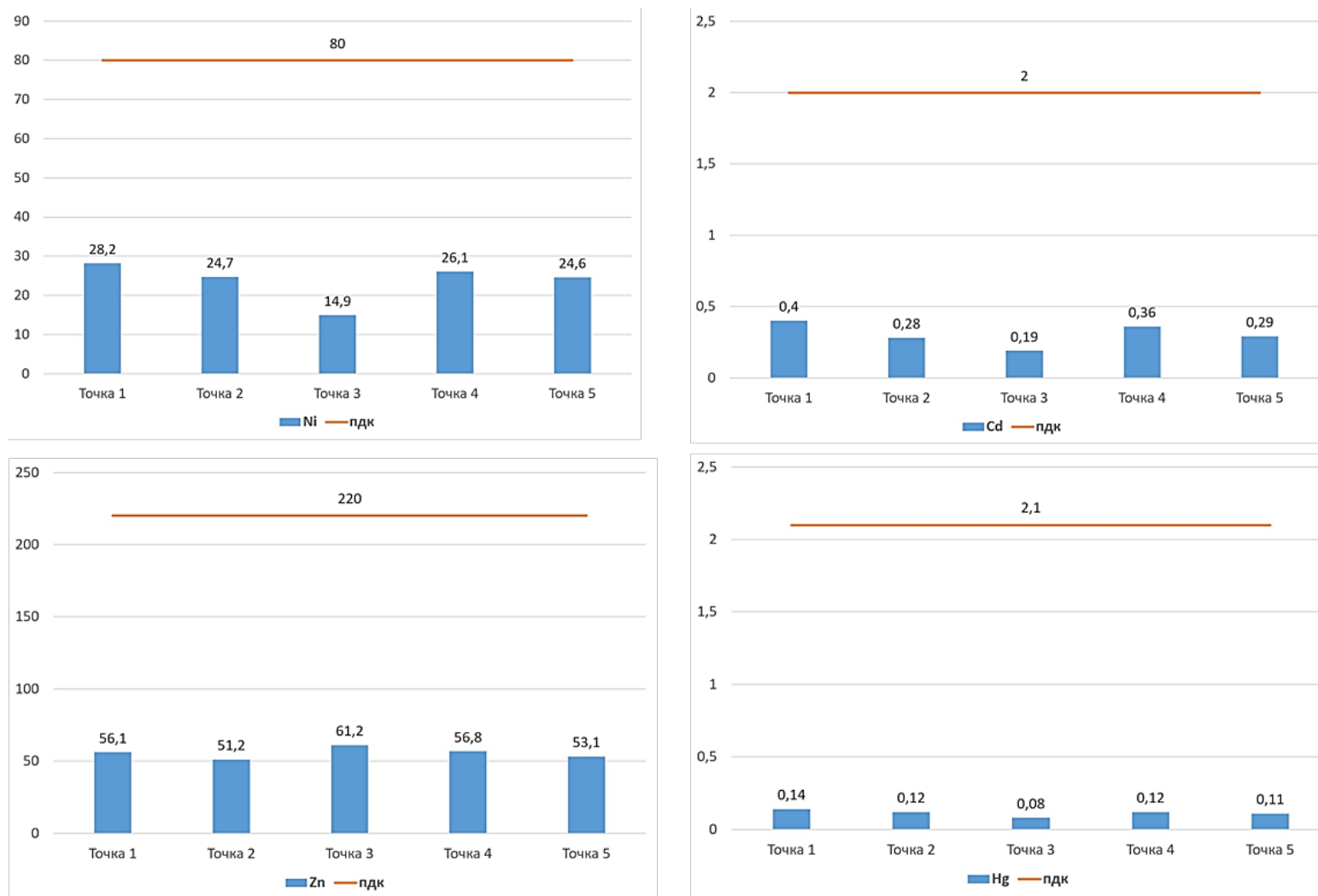


Рисунок 7.12– Диаграмма распределения элементов в исследуемых почвах:

1 – ЭИ, 2 – ТЛ, 3 –ТГН, 4 – ТГН, 5 – ТГД

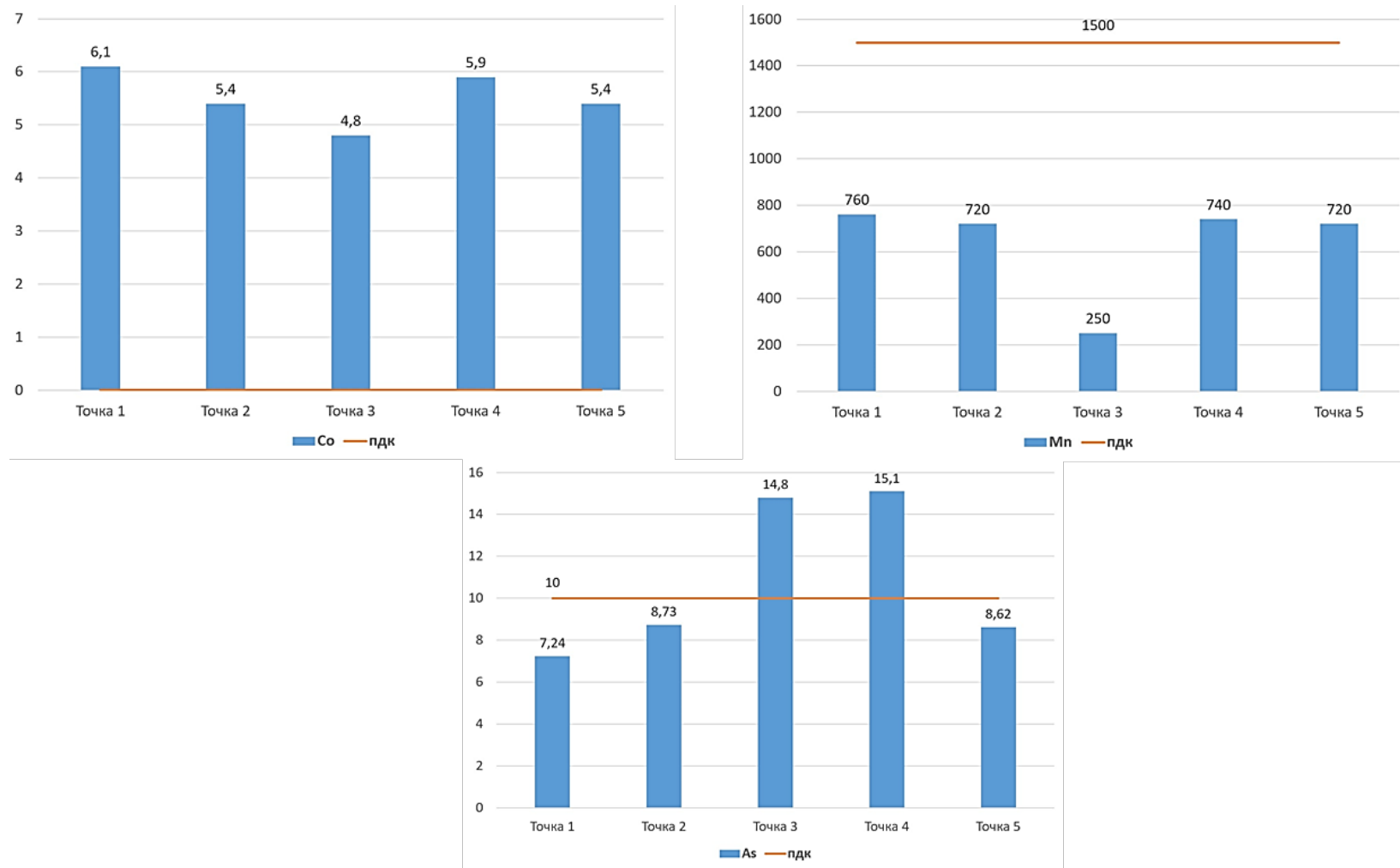


Рисунок 7.13 – Диаграмма распределения элементов в исследуемых почвах:

1 – ЭИ, 2 – ТЛ, 3 –ТГН, 4 – ТГН, 5 – ТГД

Для оценки экологической опасности отходов углеобогащения использовались методы биотестирования с разными тест-объектами: определение токсичности с использованием в качестве тест-объекта ракообразных *Daphnia magna Straus* и водорослей *Scenedesmus quadricauda*.

Результаты исследования методом биотестирования свежих отходов углеобогащения (продукты флотационного обогащения «кек» и порода после углеобогащения, первый год исследования) показали, что водная вытяжка из свежих отходов углеобогащения не оказывает токсического действия (таблицы 7.4 – 7.5). Следует отметить, что образцы отходов углеобогащения были отобраны сразу после технологического процесса и не были подвержены таким факторы, как время и климатические особенности природной среды [235].

Анализ результатов почв на многолетних, рекультивированных участках, сформированных на отходах углеобогащении методом биотестирования, показал, что практически во всех исследуемых почвах по профилю водная вытяжка не оказывает токсического действия на живые организмы.

Однако на участке, где отходы углеобогащения экспонированы на дневную поверхность и на них не были сформированы искусственные почвы – техноземы (точка 1 – ЭИ), исследуемые образцы показали отрицательное биологическое воздействие на живые организмы. В пробе ЭИ (0 – 8 см) в течение 96 ч смертность цериодафний в 100 % растворе достигла 100 %, в 50 % растворе – 10 %, также в этом же слое зафиксировано снижение численности водорослей в 100 % растворе – 100 %, в 50 % растворе – 20 % (таблицы 7.4, 7.5, рисунки 7.14, 7.15) [235].

Таблица 7.4 – Результаты определения токсичности с использованием в качестве тест-объекта ракообразных *Daphnia magna Straus*, возраст (6 – 24) ч

Глубина, см	Время наблюдения	Результаты биотестирования	Кратность разведения водной вытяжке, при которой вредное воздействие на тест-объект отсутствует, К безвр.	Оценка тестируемой пробы
Т 1 ЭИ				
0 – 10	96 ч (4 сут.)	Смертность дафний	2	Оказывает токсическое действие
		(в 100 % p-ре) 100 %		
		(в 50 % p-ре) 10 %		
		(в 25 % p-ре) 0 %		
		(в 10 % p-ре) 0 %		
		БКР10-96 = 1		
10 – 20	96 ч (4 сут.)	Смертность дафний	1	Не оказывает токсическое действие
		(в 100 % p-ре) 10 %		
		(в 50 % p-ре) 0 %		
		(в 25 % p-ре) 0 %		
		(в 10 % p-ре) 0 %		
		БКР10-96=1		
Т 2 ТЛ				
0 – 6	96 ч (4 сут.)	Смертность дафний	1	Не оказывает токсическое действие
		(в 100 % p-ре) 10 %		
		(в 50 % p-ре) 3 %		
		(в 25 % p-ре) 0 %		
		(в 10 % p-ре) 0 %		
		БКР10-96 = 1		
25 – 30	96 ч (4 сут.)	Смертность дафний	1	Не оказывает токсическое действие
		(в 100 % p-ре) 6,7 %		
		(в 50 % p-ре) 0 %		
		(в 25 % p-ре) 0 %		
		(в 10 % p-ре) 0 %		
		БКР10-96 = 1		
30 – 45	96 ч (4 сут.)	Смертность дафний	1	Не оказывает токсическое действие
		(в 100 % p-ре) 3,3 %		
		(в 50 % p-ре) 0 %		
		(в 25 % p-ре) 0 %		
		(в 10 % p-ре) 0 %		
		БКР10-96=1		

Продолжение таблицы 7.4

Глубина, см	Время наблюдения	Результаты биотестирования	Кратность разведения водной вытяжке, при которой вредное воздействие на тест-объект отсутствует, К безвр.	Оценка тестируемой пробы
Т3 ТГН				
0 – 10	96 ч (4 сут.)	Смертность дафний (в 100 % р-ре) 10 % (в 50 % р-ре) 0 % (в 25 % р-ре) 0 % (в 10 % р-ре) 0 % БКР10-96 = 1	1	Не оказывает токсическое действие
30 – 40	96 ч (4 сут.)	Смертность дафний (в 100 % р-ре) 0 % (в 50 % р-ре) 0 % (в 25 % р-ре) 0 % (в 10 % р-ре) 0 % БКР10-96 = 1	1	Не оказывает токсическое действие
Т4 ТГН				
0 – 5	96 ч (4 сут.)	Смертность дафний (в 100 % р-ре) 10 % (в 50 % р-ре) 0 % (в 25 % р-ре) 0 % (в 10 % р-ре) 0 % БКР10-96 = 1	1	Не оказывает токсическое действие
5 – 18	96 ч (4 сут.)	Смертность дафний (в 100 % р-ре) 3 % (в 50 % р-ре) 0 % (в 25 % р-ре) 0 % (в 10 % р-ре) 0 % БКР10-96 = 1	1	Не оказывает токсическое действие
20 – 30	96 ч (4 сут.)	Смертность дафний (в 100 % р-ре) 0 % (в 50 % р-ре) 0 % (в 25 % р-ре) 0 % (в 10 % р-ре) 0 % БКР10-96 = 1	1	Не оказывает токсическое действие

Продолжение таблицы 7.4

Глубина, см	Время наблюдения	Результаты биотестирования	Кратность разведения водной вытяжке, при которой вредное воздействие на тест-объект отсутствует, К безвр.	Оценка тестируемой пробы
Т5 ТГД				
0 – 11	96 ч (4 сут.)	Смертность дафний (в 100 % p-ре) 10 % (в 50 % p-ре) 0 % (в 25 % p-ре) 0 % (в 10 % p-ре) 0 % БКР10-96 = 1	1	Не оказывает токсическое действие
20 – 30	96 ч (4 сут.)	Смертность дафний (в 100 % p-ре) 3,3 % (в 50 % p-ре) 0 % (в 25 % p-ре) 0 % (в 10 % p-ре) 0 % БКР10-96 = 1	1	Не оказывает токсическое действие
32 – 45	96 ч (4 сут.)	Смертность дафний (в 100 % p-ре) 10 % (в 50 % p-ре) 0 % (в 25 % p-ре) 0 % (в 10 % p-ре) 0 % БКР10-96 = 1	1	Не оказывает токсическое действие

Таблица 7.5 – Результаты определение токсичности с использованием в качестве тест-объекта водорослей *Scenedesmus quadricauda* исследуемых почв методом биотестирования

Глубина, см	Время наблюдения	Результаты биотестирования	Кратность разведения водной вытяжке, при которой вредное воздействие на тест-объект отсутствует, К безвр.	Оценка тестируемой пробы
Т 1 ЭИ				
0 – 8	72 ч (3 сут.)	Снижение численности водорослей, % (в 100 % p-ре) 100 % (в 50 % p-ре) 20 % (в 25 % p-ре) 0 % (в 10 % p-ре) 0 % БКР20-72 = 1	2	Оказывает токсическое действие

Продолжение таблицы 7.5

Глубина, см	Время наблюдения	Результаты биотестирования	Кратность разведения водной вытяжке, при которой вредное воздействие на тест-объект отсутствует, К безвр.	Оценка тестируемой пробы
8 – 20	72 ч (3 сут.)	Снижение численности водорослей, % (в 100 % p-ре) 20 % (в 50 % p-ре) 0 % (в 25 % p-ре) 0 % (в 10 % p-ре) 0 % БКР20-72 = 1	2	Не оказывает токсическое действие
Т 2 ТЛ				
0 – 6	72 ч (3 сут.)	Снижение численности водорослей, % (в 100 % p-ре) 19,6 % (в 50 % p-ре) 10,8 % (в 25 % p-ре) 0 % (в 10 % p-ре) 0 % БКР20-72 = 1	1	Не оказывает токсическое действие
25 – 30	72 ч (3 сут.)	Снижение численности водорослей, % (в 100 % p-ре) 10 % (в 50 % p-ре) 0 % (в 25 % p-ре) 0 % (в 10 % p-ре) 0 % БКР20-72 = 1	1	Не оказывает токсическое действие
30 – 45	72 ч (3 сут.)	Снижение численности водорослей, % (в 100 % p-ре) 10 % (в 50 % p-ре) 0 % (в 25 % p-ре) 0 % (в 10 % p-ре) 0 % БКР20-72 = 1	1	Не оказывает токсическое действие
Т3 ТГН				
0 – 10	72 ч (3 сут.)	Снижение численности водорослей, % (в 100 % p-ре) 15 % (в 50 % p-ре) 0 % (в 25 % p-ре) 0 % (в 10 % p-ре) 0 % БКР20-72 = 1	1	Не оказывает токсическое действие

Продолжение таблицы 7.5

Глубина, см	Время наблюдения	Результаты биотестирования	Кратность разведения водной вытяжке, при которой вредное воздействие на тест-объект отсутствует, К безвр.	Оценка тестируемой пробы
30 – 40	72 ч (3 сут.)	Снижение численности водорослей, % (в 100 % p-ре) 0 % (в 50 % p-ре) 0 % (в 25 % p-ре) 0 % (в 10 % p-ре) 0 % БКР20-72 = 1	1	Не оказывает токсическое действие
Т4 ТГН				
0 – 5	72 ч (3 сут.)	Снижение численности водорослей, % (в 100 % p-ре) 10 % (в 50 % p-ре) 0 % (в 25 % p-ре) 0 % (в 10 % p-ре) 0 % БКР20-72 = 1	1	Не оказывает токсическое действие
5 – 18	72 ч (3 сут.)	Снижение численности водорослей, % (в 100 % p-ре) 0 % (в 50 % p-ре) 0 % (в 25 % p-ре) 0 % (в 10 % p-ре) 0 % БКР20-72=1	1	Не оказывает токсическое действие
20 – 30	72 ч (3 сут.)	Снижение численности водорослей, % (в 100 % p-ре) 20 % (в 50 % p-ре) 0 % (в 25 % p-ре) 0 % (в 10 % p-ре) 0 % БКР20-72 = 1	1	Не оказывает токсическое действие
Т5 ТГД				
0 – 11	72 ч (3 сут.)	Снижение численности водорослей, % (в 100 % p-ре) 20 % (в 50 % p-ре) 0 % (в 25 % p-ре) 0 % (в 10 % p-ре) 0 % БКР20-72 = 1	1	Не оказывает токсическое действие

Продолжение таблицы 7.5

Глубина, см	Время наблюдения	Результаты биотестирования	Кратность разведения водной вытяжке, при которой вредное воздействие на тест-объект отсутствует, К безвр.	Оценка тестируемой пробы
20 – 30	72 ч (3 сут.)	Снижение численности водорослей, % (в 100 % p-ре) 10 % (в 50 % p-ре) 0 % (в 25 % p-ре) 0 % (в 10 % p-ре) 0 % БКР20-72 = 1	1	Не оказывает токсическое действие
32 – 45	72 ч (3 сут.)	Снижение численности водорослей, % (в 100 % p-ре) 20 % (в 50 % p-ре) 0 % (в 25 % p-ре) 0 % (в 10 % p-ре) 0 % БКР20-72 = 1	1	Не оказывает токсическое действие

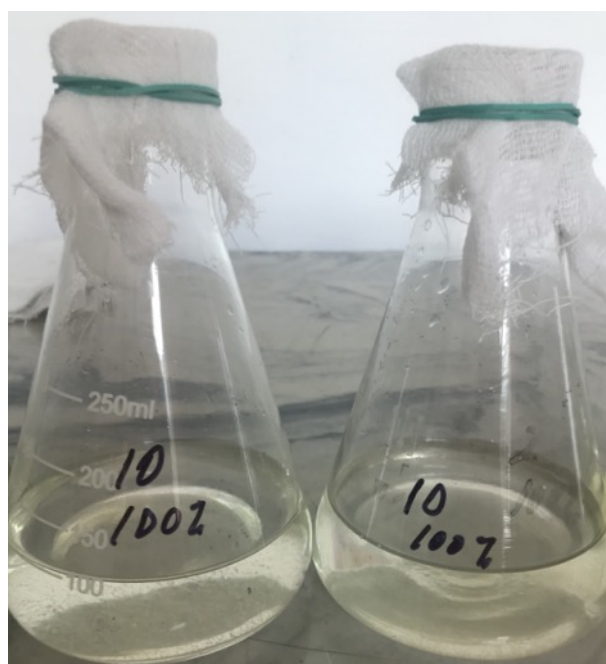


Рисунок 7.14 – Проведение эксперимента (определение токсичности с использованием в качестве тест-объекта водорослей *Scenedesmus quadricauda* исследуемых ЭИ, точка 1 методом биотестирования)

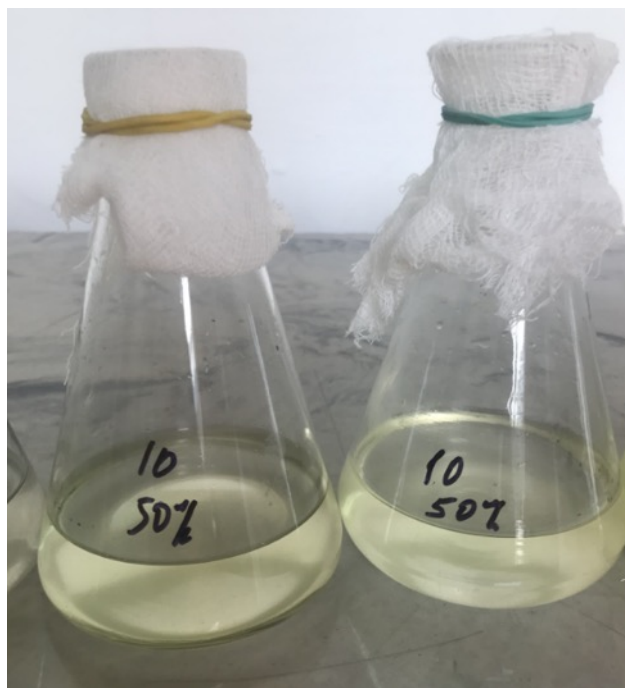


Рисунок 7.15 – Проведение эксперимента (определение токсичности с использованием в качестве тест-объекта водорослей *Scenedesmus quadricauda* исследуемых ЭИ, точка 1 методом биотестирования)

7.4 Сопряженный анализ результатов почвенно-экологических, геоботанических исследований и оценка потенциала отходов углеобогащения для использования в рекультивации нарушенных земель

По результатам комплексных многолетних исследований, направленных на получение актуальной информации о процессах восстановления и функционирования молодых почв и растительного покрова (техноземов и эмбриоземов), сформированных на отходах углеобогащения, установлено, что на участках ТГН с формированием корнеобитаемого слоя из ППП и ПСП, точки 3 и 4 (мощность слоя из ППП 30 – 35 см) и участке ТГН с послойным нанесением на поверхность отвала ППП и ПСП, точка 5 (мощность слоя из ППП – 35 см, ПСП – 5 см) сформировался устойчивый растительный покров (рисунок 7.16) [242].



Рисунок 7.16 – Точка № 3/Т 3, ТГН [242]

Следует отметить, несмотря на то, что данные почвы имеют не ярко выраженный почвенный профиль (в силу незначительного периода трансформационных процессов), результаты исследований показали, что ТГН (точки 3 и 4) и ТГД развиваются под воздействием процессов почвообразования, а также происходит постепенная трансформация профиля техноземов гумусогенных (точки 4 и 5) в направлении зональных почв (рисунки 7.17, 7.18).



Рисунок 7.17 – Точка № 4/Т 4, ТГН [242]



Рисунок 7.18 – Точка № 5/Т 5, ТГД [242]

В качестве контроля был отобран образец ненарушенной почвы, характерной для ландшафтов естественного окружения отвала – чернозем выщелоченный (рисунок 7.19).

В связи с отсыпкой плодородного слоя почвы (в смешанном и послойном виде) создаются более устойчивые системы и формируются благоприятные условия, оказывающие влияние на восстановление почвенного плодородия. Результаты макроморфологических исследований почв показали, что к общим особенностям профилей техноземов следует отнести наличие плодородного слоя почвы. Одним из первых признаков преобразования почвенного профиля следует отметить наличие дернового и гумусово-аккумулятивного горизонтов, особенно в ТГН (точка 4) и ТГД (точка 5). Развитию дернового процесса на данных техноземах существенно способствовала растительная группировка, созданная в рамках проведения биологического этапа рекультивации. В ТГН (точка 4) и ТГД (точка 5) фиксируется постепенный переход по плотности от дернового горизонта к гумусово-аккумулятивному горизонту. Содержание органического углерода по профилю техноземов соответствует аккумулятивному характеру распределения органического вещества и максимум фиксируется в дерновом

горизонте, в гумусово-аккумулятивном горизонте содержание органического вещества снижено в связи с исходным состоянием его в плодородном слое почвы, используемым для формирования верхнего слоя участков, и недостаточным временем гумусонакопления (участок № 4/Т 4, в горизонте A_d – 4,8 %; в горизонте A_1 – 3,7 %; участок 5, в горизонте A_d – 4,7 %; в горизонте A_1 – 1,1 %; участок № 6/Т 6 (черноземы выщелоченные), в горизонте A_d – 5,8 %; в горизонте A_1 – 5,7 %) (таблица 7.6). Следует отметить, что в зональной почве мощность гумусового горизонта ($A + AB$) составляет 35 – 45 см, и с глубиной по профилю почвы фиксируется постепенное уменьшение органического вещества [242].

Таблица 7.6 – Содержание основных агрохимических и физико-химических показателей почв

Тип почвы	Горизонт/глубина, см	$C_{орг.}$, %	Гумус, %	$N_{общ.}$, %	P_2O_5 , мг/кг	K_2O , мг/кг	ЁКО, мг-экв/100 г	Плотность, г/см ³	Физ. глина (< 0,01 мм), %
Т 1 ЭИ	0 – 8	16,3	–	0,04	29,8	170	14,5	1,56	16,68
	$C_2/8$ – 20	26,5	–	0,06	4,4	170	13,1	1,87	20,91
Т 2 ТЛ	I/0 – 6	1,3	2,3	0,06	1,6	70	14,5	1,38	23,09
	II/6 – 12	1,2	2,0	0,04	1,1	65	13,0	1,42	27,62
	D ₁ /12 – 28	2,6	4,5	0,05	5,4	65	9,18	2,22	20,21
	D ₂ /28 – 45	9,1	–	0,02	6,5	90	8,71	2,34	28,44
Т 3 ТГН	$A_1/0$ – 10	2,8	4,8	0,32	20,7	130	22,3	1,24	56,00
	II/20 – 30	2,6	4,5	0,24	11,4	100	23,5	1,38	55,49
	D ₁ /30 – 40	5,7	–	0,16	8,7	100	17,7	2,06	47,73
	D ₂ /40 – 50	6,4	–	0,02	0,5	130	14,1	2,10	39,84
Т 4 ТГН	$A_d/0$ – 5	4,8	8,3	0,57	47,0	270	28,4	1,27	57,43
	$A_1/5$ – 18	3,7	6,4	0,43	59,6	125	25,5	1,35	56,67
	D ₁ /20 – 30	20,1	–	0,06	8,5	180	9,13	2,10	49,11
Т 5 ТГД	$A_d/0$ – 11	4,7	8,1	0,38	45,8	185	30,0	1,20	57,68
	II/20 – 30	1,1	1,9	0,14	1,1	75	19,4	1,39	51,90
	D ₁ /32 – 50	11,2	–	0,03	3,3	130	11,5	2,03	49,84
Т 6 ЧВ (контр.)	A/5 – 15	5,8	10,0	0,73	47,4	170	37,2	1,18	57,99
	A/17 – 28	5,7	9,8	0,50	58,3	100	27,4	1,34	56,62
	AB/28 – 35	2,4	4,1	0,34	34,8	90	28,5	1,42	52,72
	B/35 – 50	1,1	1,9	0,18	89,9	65	24,1	1,46	51,08



Рисунок 7.19 – Участок № 6/Т 6, чернозем выщелоченный

В ТГН (участки №№ 3/Т 3 и 4/Т 4) и ТГД (участок № 5/Т 5) гумусовый горизонт составляет не более 30 см и фиксируется резкий переход по плотности к горизонту D (сложенному отходами углеобогащения). Проявление почвообразовательного процесса в дерновом и гумусово-аккумулятивном горизонтах способствует накоплению элементов питания (*азот*: участок № 4 в горизонте A_d – 0,57 %, в горизонте A_1 – 0,43 %; участок № 5 в горизонте A_d – 0,38 %, в горизонте A_1 – 0,14 %; участок № 6 (черноземы выщелоченные) в горизонте A_d – 0,73 %, в горизонте A_1 – 0,50 %; *фосфор*: участок 4 в горизонте A_d – 47,0 мг/кг, в горизонте A_1 – 59,6 мг/кг; участок 5 в горизонте A_d – 45,8 мг/кг, в горизонте A_1 – 1,1 мг/кг; участок № 6 (черноземы выщелоченные) в горизонте A_d – 47,4 %; в горизонте A_1 – 58,3 %; *калий*: участок 4 в горизонте A_d – 270 мг/кг, в горизонте A_1 – 125 мг/кг; участок 5 в горизонте A_d – 185 мг/кг, в горизонте A_1 – 75 мг/кг; участок 6 (черноземы выщелоченные) в горизонте A_d – 170 мг/кг, в горизонте A_1 – 100 мг/кг) (таблица 6.6) [242]. В ТГН (участок № 3/Т 3) дерновый процесс развит слабо из-за преобладания растительности в виде древесных и кустарниковых растений, однако также наблюдается увеличение органического углерода в дерновом горизонте – 2,8 %, азота – 0,32 %, фосфора – 20,7 мг/кг.

Благоприятный минералогический (наличие минералов монтмориллонитовой группы) и гранулометрический составы в ТГН (точки 3 и 4) и в ТГД (точка 5), в дерновом и гумусо-аккумулятивном горизонтах способствуют не только накоплению органического вещества, но и увеличению ёмкости катионного обмена (ЕКО). Поглотительная способность техноземов приближена к контролю (участок № 4 в горизонте A_d – 28,4 мг-экв/100 г, в горизонте A_1 – 25,5 мг-экв/100 г; участок № 5 в горизонте A_d – 30 мг-экв/100 г, в горизонте A_1 – 19,4 мг-экв/100 г; участок № 6 (чернозем выщелоченный) в горизонте A_d – 37,2 мг-экв/100 г, в горизонте A_1 – 27,4 мг-экв/100 г) (рисунок 7.20) [242].

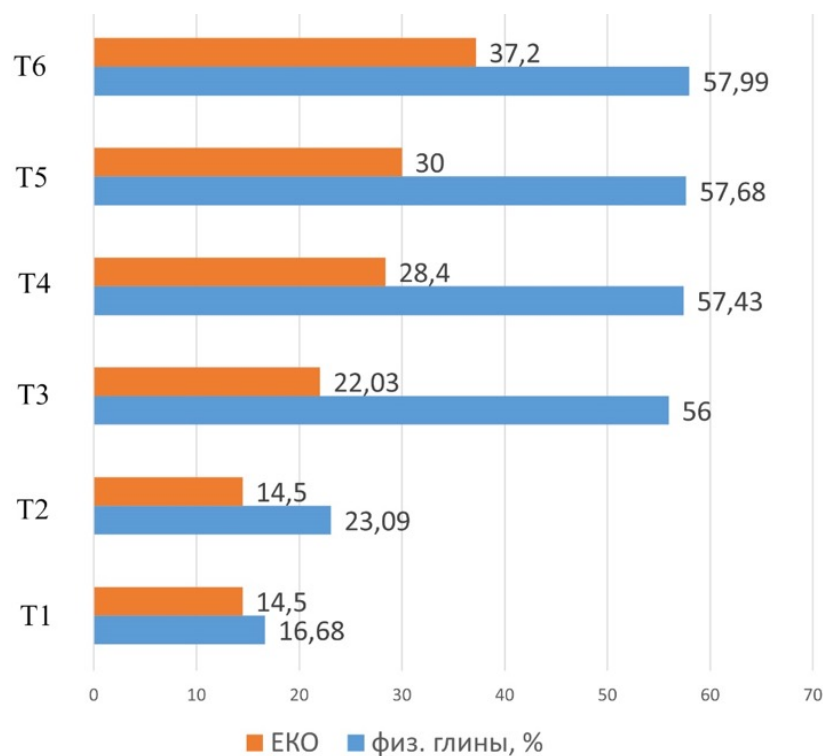


Рисунок 7.20 – Содержание значений (ЕКО) и фракции физической глины в мелкоземе техноземов и эмбриоземов, в поверхностном слое: 1 – ЭИ; 2 – ТЛ; 3 – ТГН; 4 – ТГН; 5 – ТГД; Т 6 – естественные почвы [242]



Рисунок 7.21 – Закономерность распределения проективного покрытия участков растительным покровом и запасов доступной для растений влаги за летней период в 40 см слое: 1 – ЭИ; 2 – ТЛ; 3 – ТГН; 4 – ТГН; 5 – ТГД; Т 6 – естественные почвы [242]



Рисунок 7.22 – Точка 2, ТЛ [242]

В связи с незначительной мощностью благоприятной породы в ТЛ (точка 2) на поверхности участка (не более 25 см) и слабым развитием растительного покрова, дерновый процесс в настоящее время практически не развит, соответственно в горизонте I и II (0 – 25 см), в среднем, содержание органического углерода составляет 1,3 %, общего азота – 0,06 %, что существенно ниже контрольного варианта (рисунок 6.22, таблица 6.6).

В данном техноземе формируется дефицит запасов влаги в летний период из-за легкого гранулометрического состава ППП, в слое 40 см запасы составили всего 34 мм, что на 40 % меньше контрольного варианта. Сумма биологически активных температур достигала 2387,3 °С, что на 12 % теплее контрольного варианта (рисунок 7.21). Устойчивый переход через ноль к положительным температурам в техноземе литогенном зафиксирован 6 апреля 2021 г. (глубина 5 см) и 12 апреля 2021 г. (глубина 35 см), в контрольном варианте – 9 апреля 2021 г. (глубина 5 см) и 29 апреля 2021 г. (глубина 35 см).

Следует указать, что данный участок является самым молодым и биологический этап рекультивации не проводился, однако на третий год геоботанических исследований было установлено увеличение проективного покрытия растительностью и наблюдается увеличение видового разнообразия. Поэтому можно предположить, что с течением времени здесь сформируется растительный покров, соответствующий условиям и уровню плодородия корнеобитаемого горизонта [242].

Отличительной особенностью ЭИ (участок № 1/Т 1), образованного на отходах углеобогащения (без отсыпки потенциально плодородной породы и проведения биологической рекультивации), является полное отсутствие макроморфологических признаков дифференциации почвенного профиля, почвообразовательный процесс практически не развивается (рисунок 7.23) [242]. Это в первую очередь обусловлено каменистостью субстрата (в верхней части преобладает фракция мелкозема, с глубиной каменистость возрастает; увеличение каменистости, прежде всего, вызвано влиянием физического

выветривания субстрата), низким содержанием фракции физической глины (от 16,68 до 20,91 %) (таблица 7.6).



Рисунок 7.23 – Точка 1, ЭИ

Содержание органического углерода высокое, как и во всех исследуемых техноземах (в горизонте D, сложенном отходами углеобогащения), изменяется с глубиной от 16,3 до 26,5 % (таблица 7.6). Этот факт обусловлен наличием углистых частиц [242].

Содержание общего азота напрямую зависит от запасов органического углерода и гумуса, и, соответственно, в ЭИ содержание общего азота в мелкоземе незначительное и варьирует с глубиной от 0,04 до 0,06 % (таблица 7.6). Несмотря на то что данные молодые почвы (ЭИ) – один из самых старых участков (более 10 лет), проективное покрытие растительным покровом не увеличилось (составляет не более 7 %) и растения находятся в очень угнетенном состоянии. Установлено, что, кроме негативных антропогенных факторов (высокая каменистость субстрата, низкое содержание фракции физической глины, щелочная реакция среды (рН 9,06 – 9,19)), влияющих на развитие растительного покрова и почвообразовательного процесса, дополнительной причиной угнетенного состояния растений является высокий

ксероморфизм (тепловой режим и неблагоприятные водно-физические свойства отходов) [242].

7.5 Влияние технологий на гидротермический режим молодых почв на участках рекультивации

Исследование тепловых свойств техноземов и эмбриозема проводилось с использованием автоматических датчиков температурного режима «Термохрон». Датчики устанавливались в техноземах и эмбриоземе на глубинах 5, 15 и 35 см. Температура измерялась каждые 4 ч в течение суток в период с июня 2020 по май 2021 гг. Полученные данные использовались для определения теплового режима. По результатам рассчитывались среднегодовые значения и суммы биологически активных ($\Sigma t > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) температур (рисунки 7.24, 7.25). Кроме того, учитывались максимальные и минимальные показатели температуры почв (таблица 7.7). Результаты исследований показали, что сумма биологически активных температур ($\Sigma t > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) почв выше на 200 – 500 градусов, чем у приземного слоя воздуха (рисунок 7.24). Максимальное превышение фиксируется в ЭИ (участок № 1/Т 1), минимальное – в черноземах выщелоченных (контроль) [243].

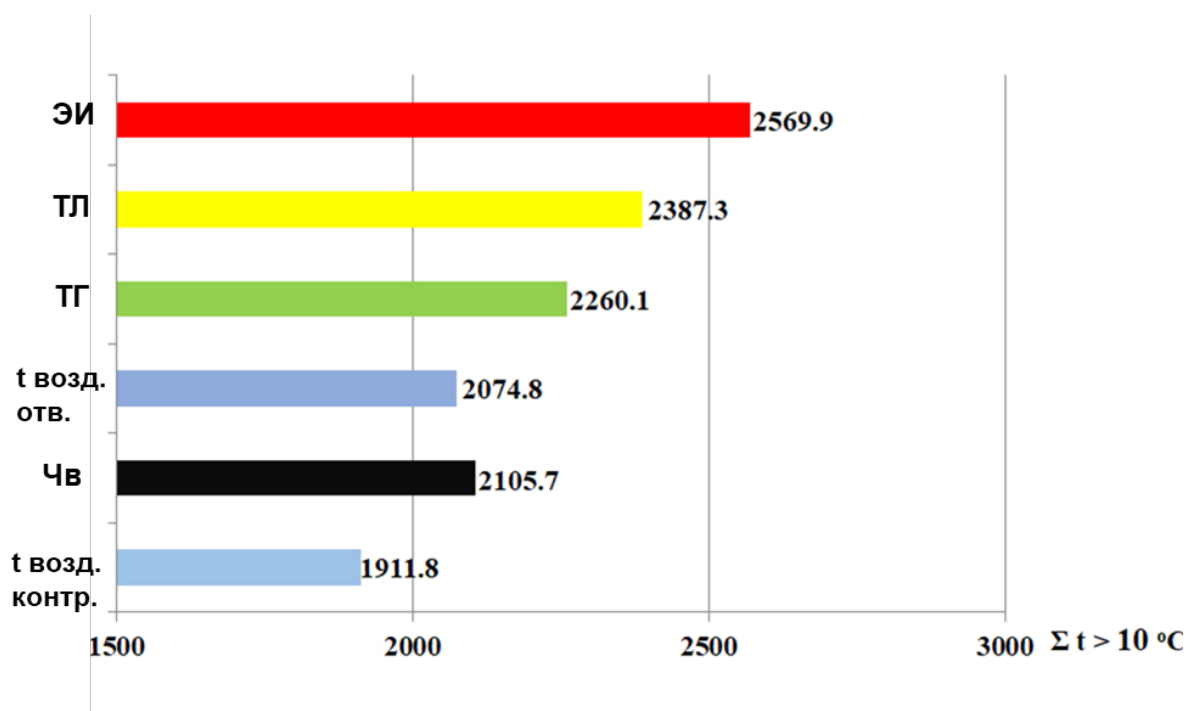


Рисунок 7.24 – Сумма биологически активных температур воздуха и почв на глубине 5 см: 1 – ЭИ (участок № 1/Т 1); 2 – ТЛ (участок № 2/Т 2); 3 – ТГ (участок № 4/Т 4); Чв – черноземы выщелоченные, tвозд. контр. – температура воздуха над естественной поверхностью [243]

Сумма температур выше 10 °C в верхнем 5-сантиметровом слое техноземов и эмбриоземов изменяется в широком диапазоне (рисунок 7.24). Максимальные значения зафиксированы в ЭИ и превышают 2500 °C. В ТЛ (участок № 2/Т 2) сумма температур выше 10 °C приближается к 2400 °C. В ТГН (участок № 4/Т 4), где корнеобитаемый слой сложен из смеси ППП и ПСП, сумма биологически активных температур ниже, и она максимально приближена к таковой температуре естественных почв. Оценивая изменение суммы биологических температур с глубиной, отмечается снижение ее значений вниз по почвенному профилю, и в среднем она уменьшается на 200 °C. Исключением в ряду исследуемых почв является ТГН. Это, по всей видимости, связано с особенностями режима увлажнения определяемыми более высокой водоудерживающей способностью суглинков. Поэтому в ТГН эффект от прогревания выражен равномерно по всей 35-сантиметровой толще [243].

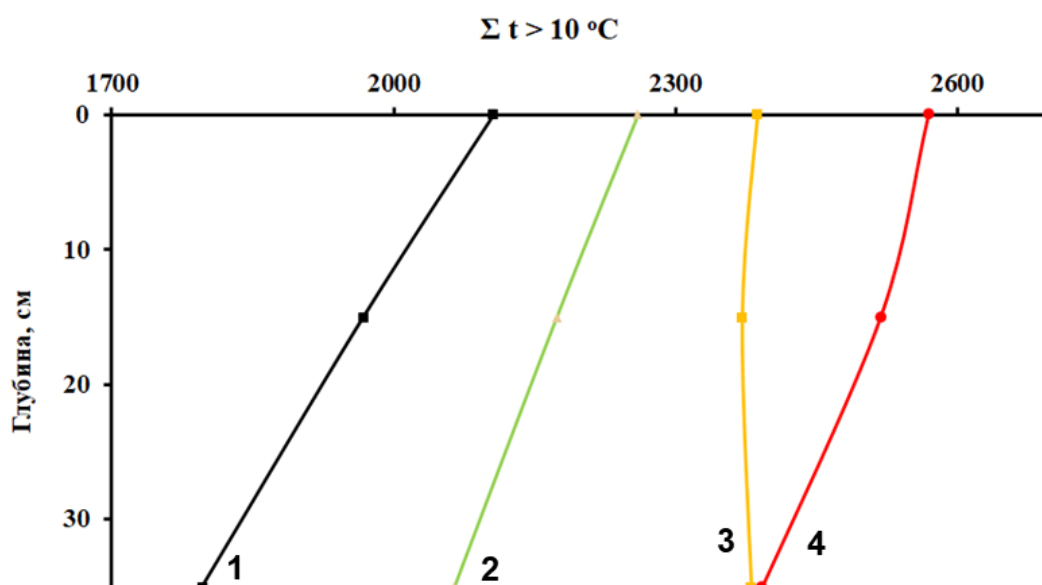


Рисунок 7.25 – Распределение по профилю почв сумм температур выше 10 °C: 1 – ЭИ (участок № 1/Т 1); 2 – ТЛ (участок № 2/Т 2); 3 – ТГН (участок № 4/Т 4); 4 – черноземы выщелоченные [243]

В ЭИ (участок № 1/Т 1) за летний период наблюдения была зафиксирована максимальная среднесуточная температура и составила 31,0 °C (глубина 5 см), что выше на 3,1 °C в сравнении с аналогичной глубиной естественных почв. Максимальная температура данных почв составила 40,5 °C (глубина 5 см), что на 18,5 °C теплее естественных почв (контрольный вариант). Тенденция изменения температуры наблюдается на глубине 35 см и составляет 26,5 °C, что теплее естественной почвы на 6 °C. В зимний период отмечены также существенные различия температурного режима ЭИ и естественных почв (контрольного варианта). Итак, минимальная среднесуточная температура на глубине 35 см составляет –3,5 °C, что теплее на 3 °C естественных почв на аналогичной глубине. Устойчивый переход через ноль к положительным температурам зафиксирован 5 апреля 2021 г. (глубина 5 см) и 11 апреля 2021 г. (глубина 35 см). Из результатов наблюдений за устойчивым переходом в сторону отрицательных и положительных температур техноземов и эмбриоземов в сравнении с контрольным вариантом следует, что в зимний период времени с увеличением глубины ЭИ и ТЛ

быстрее выхолаживаются, а в весенний период – интенсивнее прогреваются (таблица 7.7) [243, 244].

Причиной, как уже было отмечено, является высокая каменистость субстрата, темно-серая окраска, слаборазвитый растительный покров, для ТЛ (участок № 2/Т 2) – незначительная мощность верхнего слоя из потенциально плодородной породы [217].

Таблица 7.7 – Основные показатели, характеризующие температурный режим 35-сантиметрового слоя исследуемых почв

Тип почв/участок	Глубина, см	Температура, °С									Сумма температур выше 10 °С
		среднегодовая	минимальная	максимальная	максимальная среднесуточная	минимальная среднесуточная	сумма отрицательных среднесуточных	сумма положительных среднесуточных	переход к отрицательным	переход к положительным	
ЭИ – участок № 1/Т 1	5	6,8	–8,0	40,5	31,0	–7,7	–522,0	2874,35	14.11.20	05.04.21	2569,9
	15	7,5	–5,0	30,0	27,9	–5,0	–338,3	2894,08	18.11.20	04.04.21	2518,7
	35	7,7	–3,5	26,5	26,0	–3,5	–207,2	2829,8	01.12.20	11.04.21	2392,6
ТЛ участок № 2/Т 2	5	6,7	–5,0	36,5	29,3	–5,0	–368,2	2686,68	15.11.20	06.04.21	2387,3
	15	7,1	–4,0	28,0	26,5	–4,0	–278,6	2718,13	01.12.20	11.04.21	2370,5
	35	7,5	–26,5	26,0	25,8	–3,0	–190,3	2766,81	11.12.20	12.04.21	2380,5
ТГ – участок № 4/Т 4	5	5,9	–15,0	39,0	28,6	–12,2	–590,6	2608,71	15.11.20	03.04.21	2260,1
	15	6,1	–9,0	26,0	24,3	–8,1	–424,5	2520,76	30.11.20	08.04.21	2173,5
	35	6,2	–6,0	22,5	22,5	–6,0	–327,5	2462,13	26.12.20	18.04.21	2064,6
Чернозем выщелоченный – контроль	5	5,3	–10,5	33,0	27,3	–10,1	–590,3	2400,48	16.11.20	09.04.21	2105,7
	15	5,3	–8,5	24,5	23,0	–8,3	–469,6	2307,06	01.12.20	15.04.21	1967,2
	35	5,4	–6,5	21,0	20,2	–6,5	–369,3	2225,35	27.12.20	29.04.21	1796,0
Т воздуха – контроль	–	1,0	–40,0	33,5	24,9	–39,5	–1961,75	2314,5	13.11.20	07.04.21	1911,8
Т воздуха над отвалом	–	1,2	–40,0	34,5	26,3	–38,9	–2029,83	2445,9	13.11.20	03.04.21	2074,76

Оценивая параметры теплового режима, установлено, что все исследуемые техноземы и эмбриоземы, сформированные на отходах углеобогащения, в сравнении с естественными почвами (черноземами выщелоченными) характеризуются более высокой теплообеспеченностью. Согласно классификации теплового режима (по В.Н. Димо), естественные почвы (черноземы выщелоченные) относятся к холодным, длительно и сезонно промерзающим, а все техноземы и эмбриоземы – к сезонно промерзающим, что свидетельствует о более высокой теплообеспеченности данных территорий. Следует особо отметить, что все молодые почвы (техноземы и эмбриоземы) в зимний период времени с глубиной теплее, чем естественные почвы, однако мощность снежного покрова на рекультивированных участках значительно меньше, чем на участках с естественной растительностью. С одной стороны, отходы углеобогащения могут рассматриваться как теплоаккумулирующий ресурс для рекультивации, что немаловажно для Кузбасса с его дефицитом теплообеспеченности. С другой стороны, их бесконтрольное использование может провоцировать окислительные процессы и самовозгорание в теле внутреннего отвала, что приведет к перегреву грунта и сделает биологический этап восстановления невозможным [243].

Анализ данных по динамике влагозапасов исследуемых почв позволил выявить ряд особенностей, свидетельствующих о существенных различиях водного режима в сравнении с естественными почвами [166]. Динамика влагозапасов на ЭИ (точка 1) показывает, что уровень влагозапасов в слое 0 – 20 см в вегетационный период находится в нижней части интервала ВРК – ВЗ, а в середине июля опускается ниже уровня ВЗ. В слое 20 – 30 см влагозапасы еще меньше и за весь вегетационный период находятся в недоступной для растений форме.

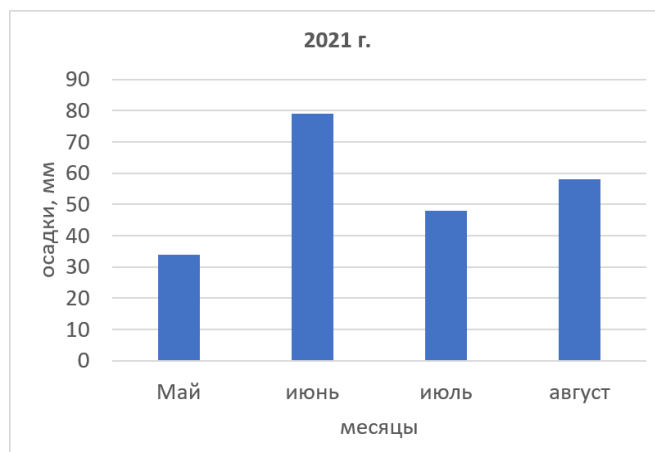
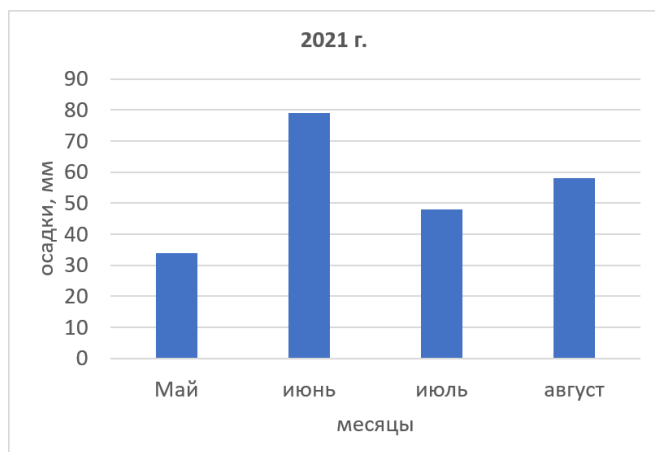
Полученные результаты свидетельствуют об очень напряженном водном режиме данных почв. Подобная картина наблюдается и на ТЛ (участок

№ 2/Т 2) в слое 0 – 20 см. В слое 20 – 40 см в начале вегетационного периода влага находится в доступном состоянии для растений (рисунок 7.26). Такая динамика объясняется повышением температуры воздуха и иссушением верхнего, корнеобитаемого слоя почвы легкого гранулометрического состава, который не может удерживать поступившие атмосферные осадки. Наибольшее количество запасов влаги (с мая по июнь) отмечается в верхнем, гумусированном горизонте (0 – 20 см) и 20 – 40 см на ТГН (участок № 4/Т 4) и ТГД (участок № 5/Т 5) (рисунки 7.28, 7.29).

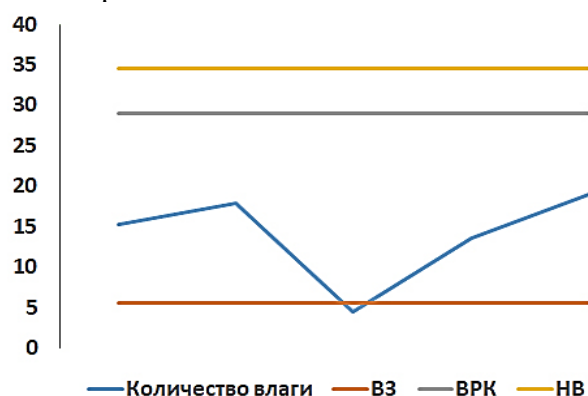
С повышением температуры воздуха и уменьшением количества атмосферных осадков запасы влаги по профилю исследуемых почв уменьшаются. Жаркий июль и теплый август не способствовали накоплению влаги в почвах, в августе запасы влаги находились в интервале ВРК – ВЗ. Следует отметить, что на данных участках сформирован мощный растительный покров, и в результате интенсивной транспирации и активного физического испарения происходит снижение влажности почв.

Водный режим естественных почв в течение всего вегетационного периода практически всегда оставался в интервале НВ – ВРК, за исключением второй половины августа. Кроме того, отмечаем, что количество атмосферных осадков в вегетационный период по данным метеостанции в течение двух лет исследований не изменялось.

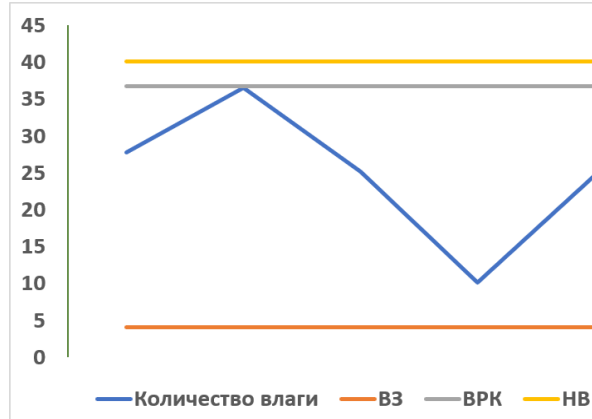
Анализ водного режима исследуемых почв на участках рекультивации показал значительные отклонения от водного режима естественных почв. Это проявляется в дефиците влажности корнеобитаемого слоя, причем на участках 1 (ЭИ, верхний слой отсыпан отходами углеобогащения) и 2 (ТЛ, верхний слой отсыпан легкими супесями) в корнеобитаемом слое (0 – 20 см) дефицит влаги наблюдается на протяжении всего вегетационного периода (7.26).



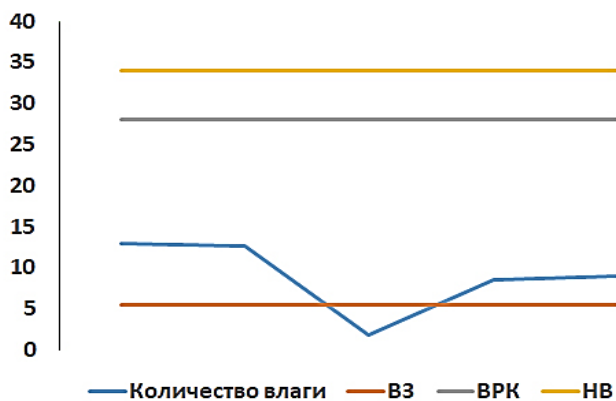
Эмбриозем инициальный 0 – 20 см



Технозем литогенный 0 – 20 см



0 – 30 см



20 – 30 см

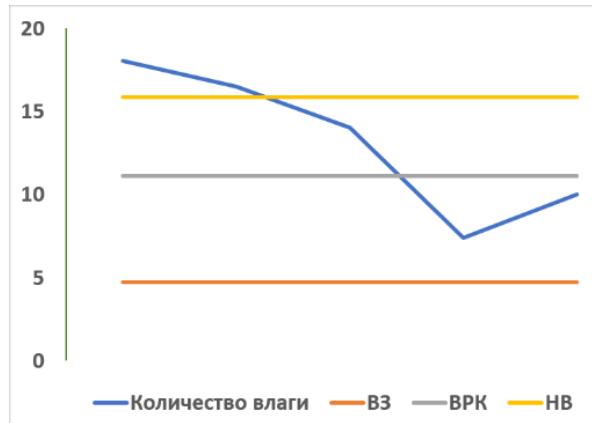


Рисунок 7.26 – Сезонная динамика запасов на ЭИ (Т.1) и ТЛ (Т.2)

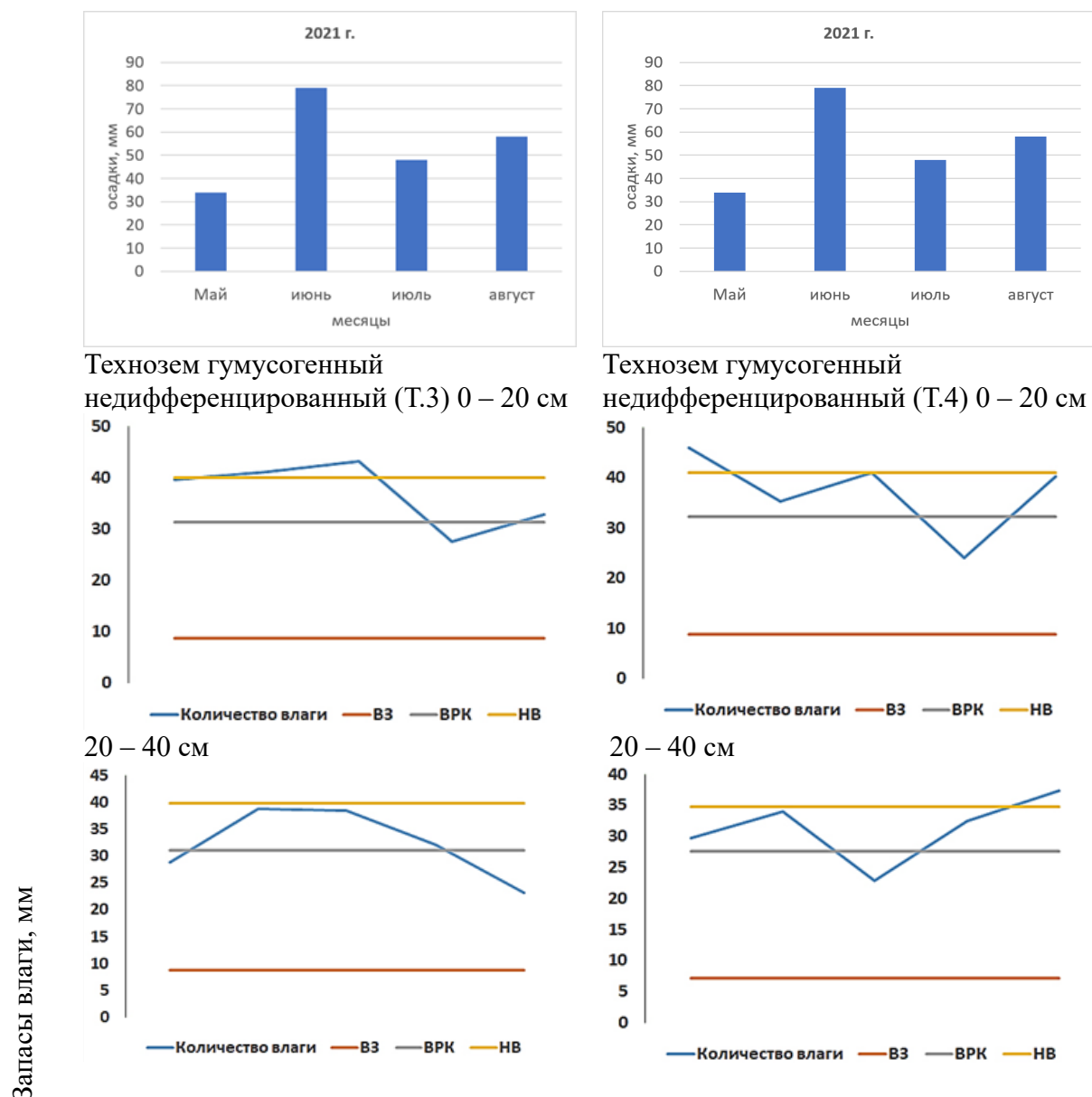


Рисунок 7.28 – Сезонная динамика запасов на ТГН (Т.3) и ТГН (Т. 4)

Вероятнее всего, значительная каменистость субстрата, высокие летние температуры на поверхности исследуемых почв (максимальная температура в летний период в верхней части пятисантиметрового слоя ЭИ поднималась до +40 °С), и недостаточная мощность верхнего слоя из благоприятной породы – все это приводит к иссушению верхнего горизонта молодых почв и отрицательно влияет на запасы продуктивной влаги в сравнении с естественными почвами. В ТГД (участок № 5/Т 5) запасы влаги схожи с таковыми в естественной почве (рисунок 7.29). Создание на поверхности техноземов из гумусированного плодородного слоя почвы и потенциально

плодородных пород способствует улучшению почвенно-физических условий, складывающихся в слое ПСП, и водного режима исследуемых почв.

Оценивая параметры температурного режима исследуемых почв, можно утверждать, что сформированные техноземы и эмбриоземы на отходах углеобогащения характеризуются более высокой теплообеспеченностью по сравнению с естественными почвами. Согласно классификации теплового режима почв, предложенной В.Н. Димо, зональные почвы (черноземы выщелоченные) относятся к холодным, длительно- и сезоннопромерзающим почвам [166]. Следовательно, использование материала из отходов углеобогащения и флотационного обогащения «кек» может быть направлено на улучшение теплового режима почв рекультивируемых участков, что немаловажно для Кузбасса, природно-климатические условия которого во многих районах характеризуются дефицитом теплообеспеченности. Однако при этом необходимо обеспечить водоудерживающую способность молодых почв для формирования благоприятного гидротермического режима. Это будет способствовать стабильному функционированию биocenозов на участках рекультивации [243].

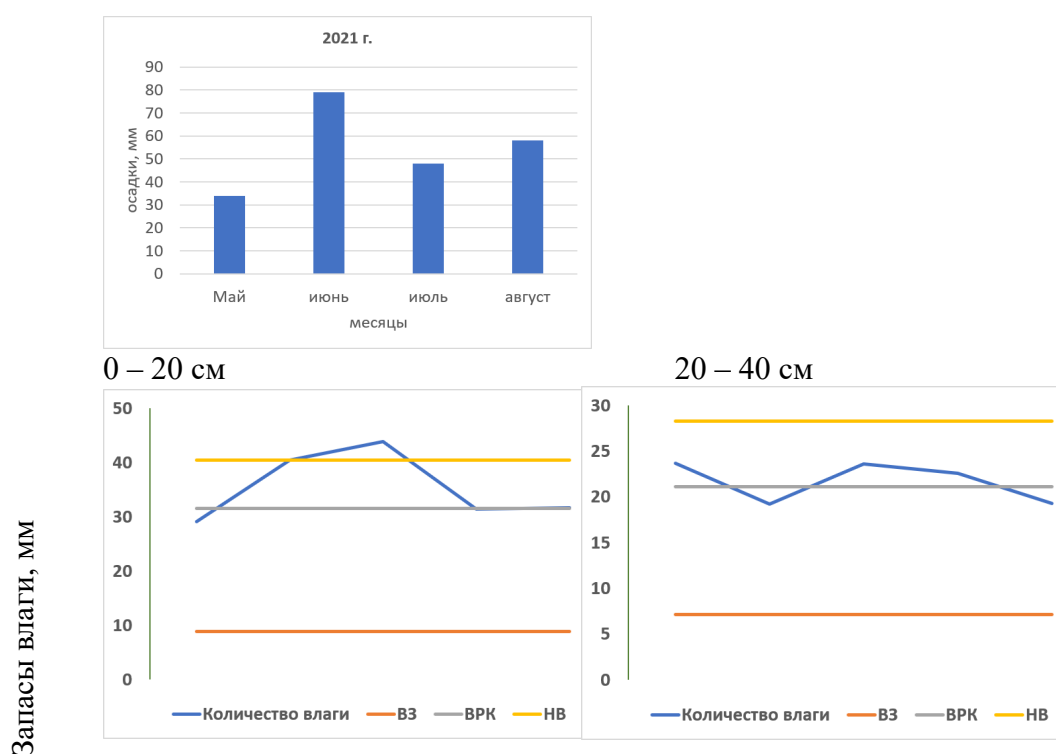


Рисунок 7.29 – Сезонная динамика запасов влаги на ТГД, (Т.5)

7.6 Оценка современного уровня восстановления биогеоценозов на участках рекультивации с использованием отходов углеобогащения

В июле 2020, 2021 и 2022 гг. были проведены полевые обследования участков рекультивации с использованием отходов углеобогащения. Кроме того, с целью выявления степени восстановленности растительного покрова и сравнения фиторазнообразия растительности рекультивированных и естественных участков было проведено обследование на относительно ненарушенном, фоновом участке, расположенном на близлежащей территории.

При обследовании растительного покрова методом геоботанических описаний участков рекультивации были отмечены следующие особенности.

На участке с эмбриозом инициальном (геоботаническое описание участка № 1) корнеобитаемый слой отсыпан породой углеобогащения, биологический этап рекультивации не проводился. В период 2020 – 2022 гг. на данном участке наблюдается незначительное увеличение видового разнообразия – с 20 до 23 видов с проективным покрытием не более 7 %. Древесный и кустарниковый ярусы представлены несколькими экземплярами клёна американского (*Acer negundo* L.), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), тополя чёрного (*Populus nigra* L.) (в 2022 г. не был нами встречен) и облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.), а в травянистом ярусе – разнотравье рудеральных видов (таблица 7.8). Необходимо подчеркнуть тот факт, что все представленные на данном участке растения находятся в угнетенном состоянии. Проективное покрытие около 7 % [154, 242, 245 – 248].

Таблица 7.8 – Видовой состав растительности (геоботаническое описание № 1)

№	Название вида	Проективное покрытие по годам, %		
		2020	2021	2022
Деревья и кустарники				
1	Клён американский (<i>Acer negundo</i> L.)	+	+	+
2	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	+	+	+
3	Тополь чёрный (<i>Populus nigra</i> L.)	+	+	–
4	Облепиха крушиновидная (<i>Hippophae rhamnoides</i> L.)	+	+	+
Травы				
5	Ячмень гривастый (<i>Hordeum jubatum</i> L.)	<10	<10	–
6	Вьюнок полевой (<i>Convolvulus arvensis</i> L.)	<10	<10	<10
7	Козлобородник восточный (<i>Tragopogon orientalis</i> L.)	<10	<10	+
8	Пырей ползучий (<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski)	<10	<10	<10
9	Клоповник густоцветковый (<i>Lepidium densiflorum</i> Schrad.)	<10	<10	–
10	Липучка оттопыренная (<i>Lappula squarrosa</i> (Retz.) Dumort.)	<10	<10	<10
11	Льнянка обыкновенная (<i>Linaria vulgaris</i> Mill.)	<10	<10	<10
12	Одуванчик лекарственный (<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.)	<10	<10	<10
13	Полынь чернобыльник (<i>Artemisia vulgaris</i> L.)	<10	<10	<10
14	Змееголовник поникающий (<i>Dracocephalum nutans</i> L.)	<10	<10	+
15	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth)	+	+	+
16	Бодяк щетинистый (<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Besser)	+	+	+
17	Мелколепестник канадский (<i>Erigeron canadensis</i> L.)	+	+	+
18	Донник белый (<i>Melilotus albus</i> Medikus)	+	+	+
19	Полынь горькая (<i>Artemisia absinthium</i> L.)	+	+	+
20	Латук компасный (<i>Lactuca serriola</i> L.)	+	+	+
21	Донник лекарственный (<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.)	–	<10	+
22	Люцерна серповидная (<i>Medicago falcata</i> L.)	–	<10	+
23	Спаржа лекарственная (<i>Asparagus officinalis</i> L.)	–	–	+
24	Молочай лозный (<i>Euphorbia virgata</i> Waldst. et Kit.)	–	–	+
25	Гетеропаппус двулетний (<i>Heteropappus biennis</i> (Ledeb.) Tamamsch. ex Grubov)	–	–	+
26	Солянка холмовая (<i>Salsola collina</i> Pall.)	–	–	<10
Всего видов по годам		20	22	23

Деятельность животных не выявлена.

Напочвенный ярус не выявлен.

Рекультивированный участок с формированием технозема литогенного без посева трав возрастом более 4 лет (геоботаническое описание участка № 2) в 2020 г. характеризовался большим видовым разнообразием – 34 вида (преобладающая доля рудеральных видов – характерно для начальных стадий

зарастания), но при этом очень малым проективным покрытием – не более 15 % (рисунки 7.30, 7.31). Доминантами выступали полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.) и пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski). Древесный ярус представлен одним экземпляром подроста вяза низкого (*Ulmus pumila* L.) (таблица 7.9). Однако при обследовании этого же участка в 2021 и 2022 гг. было обнаружено, что видовое разнообразие постепенно снижается и варьирует в пределах от 23 до 27 видов, а по состоянию на 2022 г. сократилось до 26 видов, при этом проективное покрытие увеличилось до 35 %, и к доминантам прошлого года добавились полынь чернобыльник (*Artemisia vulgaris* L.), полынь сизая (*Artemisia glauca* Pall. ex Willd.) и люцерна серповидная (*Medicago falcata* L.). Такое изменение в видовом разнообразии свидетельствует об интенсивно протекающих начальных этапах растительной сукцессии. Общее проективное покрытие в 2020 г. составляло 15 %, в 2021 г. – 25 %, а в 2022 г. – около 30 – 35 % [154, 242, 245 – 248].

Таблица 7.9 – Видовой состав растительности (геоботаническое описание № 2)

№	Название вида	Проективное покрытие по годам, %		
		2020	2021	2022
Деревья и кустарники				
1	Вяз низкий (<i>Ulmus pumila</i> L.)	+	+	+
2	Клён американский (<i>Acer negundo</i> L.)	–	–	+
Травы				
3	Полынь горькая (<i>Artemisia absinthium</i> L.)	20	40	50
4	Пырей ползучий (<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski)	10	40	40
5	Бодяк щетинистый (<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Besser)	<10	10	<10
6	Качим высокий (<i>Gypsophila altissima</i> L.)	<10	+	+
7	Осот полевой (<i>Sonchus arvensis</i> L.)	<10	<10	–
8	Полынь чернобыльник (<i>Artemisia vulgaris</i> L.)	<10	45	20
9	Полынь сизая (<i>Artemisia glauca</i> Pall. ex Willd.)	<10	30	30
10	Лебеда стреловидная (<i>Atriplex sagittata</i> Borkh.)	<10	–	–
11	Гетеропаппус двулетний (<i>Heteropappus biennis</i> (Ledeb.) Tamamsch. ex Grubov)	<10	<10	+
12	Сурепка дуговидная (<i>Barbarea arcuata</i> (Opiz ex J. et C. Presl) Reichenb.)	<10	+	+
13	Марь белая (<i>Chenopodium album</i> L.)	<10	–	–
14	Мелколепестник канадский (<i>Erigeron canadensis</i> L.)	<10	–	–
15	Липучка оттопыренная (<i>Lappula squarrosa</i> (Retz.) Dumort.)	<10	<10	<10

Продолжение таблицы 7.9

№	Название вида	Проективное покрытие по годам, %		
		2020	2021	2022
16	Лапчатка распростёртая (<i>Potentilla humifusa</i> Willd. ex Schltdl.)	<10	<10	<10
17	Льнянка обыкновенная (<i>Linaria vulgaris</i> Mill.)	<10	–	–
18	Икотник серо-зелёный (<i>Berteroa incana</i> (L.) DC.)	<10	<10	10
19	Клевер луговой (<i>Trifolium pratense</i> L.)	<10	–	+
20	Клоповник густоцветковый (<i>Lepidium densiflorum</i> Schrad.)	<10	–	–
21	Люцерна серповидная (<i>Medicago falcata</i> L.)	<10	30	40
22	Клевер ползучий (<i>Trifolium repens</i> L.)	<10	<10	<10
23	Спорыш птичий (<i>Polygonum aviculare</i> L.)	<10	–	–
24	Телоксис остистый (<i>Teloxys aristata</i> (L.) Moq.)	<10	–	–
25	Хвощ полевой (<i>Equisetum arvense</i> L.)	<10	–	–
26	Василёк шероховатый (<i>Centaurea scabiosa</i> L.)	+	+	<10
27	Жабрица порезниковая (<i>Seseli libanotis</i> (L.) W.D.J. Koch)	+	+	–
28	Дрёма белая (<i>Melandrium album</i> (Mill.) Garcke)	+	–	–
29	Трёхреберник непахучий (<i>Tripleurospermum inodorum</i> (L.) Sch. Bip.)	+	–	–
30	Иван-чай узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.)	+	+	+
31	Лапчатка гусиная (<i>Potentilla anserina</i> L.)	+	–	–
32	Осока приземистая (<i>Carex supina</i> Willd. ex Wahlenb.)	+	+	+
33	Зопник клубненосный (<i>Phlomoideis tuberosa</i> (L.) Moench)	+	–	–
34	Кострец безостый (<i>Bromopsis inermis</i> (Leyss.) Holub)	+	–	–
35	Чертополох поникающий (<i>Carduus nutans</i> L.)	+	–	–
36	Ковыль перистый (<i>Stipa pennata</i> L.)	–	+	–
37	Молочай лозный (<i>Euphorbia virgata</i> Waldst. et Kit.)	–	+	+
38	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth)	–	10	10
39	Тысячелистник обыкновенный (<i>Achillea millefolium</i> L.)	–	+	<10
40	Вьюнок полевой (<i>Convolvulus arvensis</i> L.)	–	–	<10
41	Земляника зелёная (<i>Fragaria viridis</i> (Duchesne) Weston)	–	–	+
42	Овсяница луговая (<i>Festuca pratensis</i> Huds.)	–	–	+
43	Одуванчик лекарственный (<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.)	–	–	+
44	Бодяк съедобный (<i>Cirsium esculentum</i> (Siev.) C.A. Mey.)	–	–	+
Всего видов по годам		34	23	27



Рисунок 7.30 – Фото растительного покрова на участке № 2 в 2020 г.



Рисунок 7.31 – Фото растительного покрова на участке № 2 в 2021 г.

Растительный покров на участке рекультивации (геоботаническое описание участка № 5) с формированием технозема гумусогенного дифференцированного и проведением биологической рекультивации путем посева костреца безостого (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub) представлен 26 видами травянистых растений (незначительное увеличение количества видов по сравнению с 2020 г. – 18 видов) с проективным покрытием в 80 – 85 %. Доминантами являются вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth),

ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), мятлик степной (*Poa stepposa* (Krylov) Roshev.) и кострец безостый (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub) (таблица 7.10, рисунок 7.32). Напочвенный ярус также представлен мхами с проективным покрытием не более 10 %. На территории обследованного участка отмечается значительное количество нор грызунов. Общее проективное покрытие в 2020 г. – 80 %, в 2021 г. – 80 %, а в 2022 г. – около 80 – 85 % [154, 242, 245 – 248].

Таблица 7.10 – Видовой состав растительности (геоботаническое описание № 5)

№	Название вида	Проективное покрытие по годам, %		
		2020	2021	2022
Деревья и кустарники				
1	Шиповник майский (<i>Rosa cinnamomea</i> L.)	–	–	+
2	Облепиха крушиновидная (<i>Hippophae rhamnoides</i> L.)	–	–	+
Травы				
3	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth)	50	50	50
4	Ежа сборная (<i>Dactylis glomerata</i> L.)	50	50	50
5	Мятлик степной (<i>Poa stepposa</i> (Krylov) Roshev.)	50	50	40
6	Кострец безостый (<i>Bromopsis inermis</i> (Leyss.) Holub)	40	40	30
7	Люцерна серповидная (<i>Medicago falcata</i> L.)	10	10	10
8	Горошек приятный (<i>Vicia amoena</i> Fisch.)	10	<10	<10
9	Бодяк щетинистый (<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Besser)	<10	<10	<10
10	Лапчатка распростёртая (<i>Potentilla humifusa</i> Willd. ex Schltdl.)	<10	<10	<10
11	Земляника зелёная (<i>Fragaria viridis</i> (Duchesne) Weston)	<10	<10	<10
12	Молочай прутьевидный (<i>Euphorbia virgata</i> Waldst. & Kit.)	<10	<10	10
13	Одуванчик лекарственный (<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.)	<10	<10	<10
14	Донник лекарственный (<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.)	<10	<10	<10
15	Клевер луговой (<i>Trifolium pratense</i> L.)	<10	+	+
16	Пустырник уменьшенный (<i>Leonurus deminutus</i> V. Krecz.)	<10	<10	<10
17	Полынь сизая (<i>Artemisia glauca</i> Pall. ex Willd.)	<10	<10	<10
18	Донник белый (<i>Melilotus albus</i> Medikus)	+	+	+
19	Козлобородник восточный (<i>Tragopogon orientalis</i> L.)	+	+	+
20	Василисник простой (<i>Thalictrum simplex</i> L.)	+	+	+
21	Вероника колосиста (<i>Veronica spicata</i> L.)	–	+	+
22	Льнянка обыкновенная (<i>Linaria vulgaris</i> Mill.)	–	+	+
23	Люцерна пестрая (<i>Medicago</i> × <i>varia</i> Martyn)	–	+	+
24	Осот полевой (<i>Sonchus arvensis</i> L.)	–	+	+
25	Полынь эстрагон (<i>Artemisia dracunculus</i> L.)	–	–	+
26	Вьюнок полевой (<i>Convolvulus arvensis</i> L.)	–	+	<10
Всего видов по годам		18	23	26

Напочвенный ярус представлен мхами, проективное покрытие которых составляет не более 10 %.



Рисунок 7.32 – Фото растительного покрова на участке № 5

На двух участках с формированием техноземов гумусогенных недифференцированных был проведен биологический этап рекультивации. На участке (геоботаническое описание участка № 4) – посредством посевов костреца безостого (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub) и люцерны посевной (*Medicago sativa* L.) (рисунок 6.35). На участке (геоботаническое описание № 3) путем посадки облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) (рисунки 7.33 – 7.34). В первом случае проективное покрытие равно 90 %, а видовое разнообразие составляет 24 вида, доминантами выступают кострец безостый (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub), пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski) и мятлик степной (*Poa stepposa* (Krylov) Roshev.), а люцерна посевная (*Medicago sativa* L.) не была отмечена на участке (таблица 7.13). Во втором – проективное покрытие равно 90 % с видовым разнообразием в 21 вид, среди которого в травянистом ярусе доминирует вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), а среди древесного и кустарникового яруса – облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.). Среди древесного яруса высаженная ранее сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) с течением времени сохранила свое присутствие, а также появились берёза повислая (*Betula pendula* Roth), осина обыкновенная

(*Populus tremula* L.) и клён американский (*Acer negundo* L.). Более того, вес мортмассы на этих участках равен или больше зеленой фитомассы (таблица 7.12), что свидетельствует о слабой степени разложения растительных остатков. Кроме того, на этих двух участках отмечается напочвенный ярус, представленный мхами и составляющий до 10 % проективного покрытия, также на участках установлена значительная активность животного мира, в частности, в первом случае (преобладание травянистого яруса) обнаруживается значительное количество нор грызунов, во втором (преобладание древесного яруса) – большое количество муравейников. [154, 242, 245, 246, 248].

Таблица 7.12 – Видовой состав растительности (геоботаническое описание № 3)

№	Название вида	Проективное покрытие по годам, %		
		2020	2021	2022
Деревья и кустарники				
1	Берёза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth)	+	+	+
2	Осина обыкновенная (<i>Populus tremula</i> L.)	+	+	+
3	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	+	+	+
4	Клён американский (<i>Acer negundo</i> L.)	+	+	+
5	Облепиха крушиновидная (<i>Hippophae rhamnoides</i> L.)	40	40	40
Травы				
6	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth)	80	80	80
7	Мятлик степной (<i>Poa stepposa</i> (Krylov) Roshev.)	10	10	10
8	Чертополох поникающий (<i>Carduus nutans</i> L.)	+	+	+
9	Пырей ползучий (<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski)	<10	<10	<10
10	Вьюнок полевой (<i>Convolvulus arvensis</i> L.)	<10	<10	<10
11	Льнянка обыкновенная (<i>Linaria vulgaris</i> Mill.)	<10	<10	<10
12	Пустырник уменьшенный (<i>Leonurus deminutus</i> V. Krecz.)	+	+	+
13	Бодяк съедобный (<i>Cirsium esculentum</i> (Siev.) C.A. Mey.)	+	+	+
14	Земляника зелёная (<i>Fragaria viridis</i> (Duchesne) Weston)	<10	<10	<10
15	Гетеропаппус двулетний (<i>Heteropappus biennis</i> (Ledeb.) Tamamsch. ex Grubov)	+	+	+
16	Бодяк щетинистый (<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Besser)	–	+	+
17	Паслён Китагавы (<i>Solanum kitagawae</i> Schonb.-Tem.)	+	+	+
18	Полынь эстрагон (<i>Artemisia dracunculus</i> L.)	–	+	+
19	Полынь чернобыльник (<i>Artemisia vulgaris</i> L.)	+	+	+
20	Девясил шероховатый (<i>Inula aspera</i> Poir.)	–	<10	+
21	Герань сибирская (<i>Geranium sibiricum</i> L.)	–	<10	<10
Всего видов по годам		17	21	21

Общее проективное покрытие около 90 %. Деятельность животных: несколько муравейников. Напочвенный ярус представлен мхами, проективное покрытие которых равно 5 %.



Рисунок 7.33 – Фото растительного покрова на участке № 3



Рисунок 7.34 – Фото муравейника на участке № 3

Таблица 7.13– Видовой состав растительности (геоботаническое описание № 4)

№	Название вида	Проективное покрытие по годам, %		
		2020	2021	2022
Травы				
1	Кострец безостый (<i>Bromopsis inermis</i> (Leyss.) Holub)	70	70	60
2	Пырей ползучий (<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski)	60	60	60
3	Мятлик степной (<i>Poa stepposa</i> (Krylov) Roshev.)	50	50	50
4	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth)	10	10	20
5	Земляника зелёная (<i>Fragaria viridis</i> (Duchesne) Weston)	10	10	10
6	Лапчатка распростёртая (<i>Potentilla humifusa</i> Willd. ex Schltld.)	<10	<10	<10
7	Ежа сборная (<i>Dactylis glomerata</i> L.)	<10	<10	<10
8	Чертополох поникающий (<i>Carduus nutans</i> L.)	<10	<10	<10
9	Бодяк щетинистый (<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Besser)	<10	<10	<10
10	Овсяница валлисская (<i>Festuca valesiaca</i> Gaudin)	<10	<10	<10
11	Молочай прутьевидный (<i>Euphorbia virgata</i> Waldst. & Kit.)	<10	<10	<10
12	Икотник серо-зелёный (<i>Berteroa incana</i> (L.) DC.)	+	+	+
13	Астрагал бороздчатый (<i>Astragalus sulcatus</i> L.)	+	+	+
14	Бодяк съедобный (<i>Cirsium esculentum</i> (Siev.) C.A. Mey.)	+	+	+
15	Лапчатка вильчатая (<i>Potentilla bifurca</i> L.)	+	+	<10
16	Марь белая (<i>Chenopodium album</i> L.)	+	+	+
17	Горошек мышиный (<i>Vicia cracca</i> L.)	–	+	+
18	Козлобородник восточный (<i>Tragopogon orientalis</i> L.)	–	+	+
19	Клевер ползучий (<i>Trifolium repens</i> L.)	–	<10	<10
20	Чина луговая (<i>Lathyrus pratensis</i> L.)	–	+	+
21	Льнянка обыкновенная (<i>Linaria vulgaris</i> Mill.)	–	<10	<10
22	Тысячелистник обыкновенный (<i>Achillea millefolium</i> L.)	–	+	+
23	Полынь чернобыльник (<i>Artemisia vulgaris</i> L.)	–	+	+
24	Вероника колосистая (<i>Veronica spicata</i> L.)	–	–	+
Всего видов по годам		16	23	24

Общее проективное покрытие 90 %. Деятельность животных: норы грызунов по всей площадке.

Напочвенный ярус представлен мхами, проективное покрытие которых равно 10 %.



Рисунок 6.35 – Фото растительного покрова на участке № 4

Контрольной площадкой (остепненный луг) был выбран участок близ исследуемой территории (геоботаническое описание № 6), растительный покров которой представлен травянистым ярусом (рисунок 7.36). Проектное покрытие равно 95 %, а видовое разнообразие насчитывает 33 вида. Доминантами выступают полынь сизая (*Artemisia glauca* Pall. ex Willd.), зопник клубненосный (*Phlomis tuberosa* (L.) Moench), лабазник обыкновенный (*Filipendula vulgaris* Moench) и др. На участке также отмечена деятельность животного мира, в частности несколько муравейников. Почва – чернозем выщелоченный. [154, 242, 245 – 248].

Таблица 7.14 – Видовой состав растительности (геоботаническое описание № 6)

№	Название вида	Проективное покрытие по годам, %		
		2020	2021	2022
Травы				
1	Полынь сизая (<i>Artemisia glauca</i> Pall. ex Willd.)	25	25	25
2	Зопник клубненосный (<i>Phlomoides tuberosa</i> (L.) Moench)	20	20	15
3	Лабазник обыкновенный (<i>Filipendula vulgaris</i> Moench)	20	20	30
4	Земляника зелёная (<i>Fragaria viridis</i> (Duchesne) Weston)	20	20	25
5	Ковыль перистый (<i>Stipa pennata</i> L.)	15	15	20
6	Мятлик степной (<i>Poa stepposa</i> (Krylov) Roshev.)	15	15	15
7	Адонис весенний (<i>Adonis vernalis</i> L.)	10	10	10
8	Лапчатка распростёртая (<i>Potentilla humifusa</i> Willd. ex Schltdl.)	10	10	10

Продолжение таблицы 7.14

№	Название вида	Проективное покрытие по годам, %		
		2020	2021	2022
9	Ежа сборная (<i>Dactylis glomerata</i> L.)	<10	<10	<10
10	Качим высокий (<i>Gypsophila altissima</i> L.)	<10	<10	<10
11	Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth)	<10	<10	<10
12	Кострец безостый (<i>Bromopsis inermis</i> (Leyss.) Holub)	<10	<10	<10
13	Пустырник уменьшенный (<i>Leonurus deminutus</i> V. Krecz.)	<10	<10	<10
14	Тимофеевка луговая (<i>Phleum pratense</i> L.)	<10	<10	<10
15	Полынь чернотыльник (<i>Artemisia vulgaris</i> L.)	<10	<10	<10
16	Молочай прутьевидный (<i>Euphorbia virgata</i> Waldst. & Kit.)	<10	<10	<10
17	Подмаренник настоящий (<i>Galium verum</i> L.)	<10	<10	<10
18	Горичник Морисона (<i>Peucedanum morisonii</i> Besser ex Spreng.)	<10	<10	<10
19	Льнянка обыкновенная (<i>Linaria vulgaris</i> Mill.)	<10	<10	<10
20	Тысячелистник обыкновенный (<i>Achillea millefolium</i> L.)	<10	<10	<10
21	Вероника колосиста (<i>Veronica spicata</i> L.)	<10	<10	<10
22	Нонея русская (<i>Nonea rossica</i> Steven)	<10	<10	<10
23	Василисник малый (<i>Thalictrum minus</i> L.)	+	+	+
24	Кровохлёбка лекарственная (<i>Sanguisorba officinalis</i> L.)	+	+	+
25	Василёк шероховатый (<i>Centaurea scabiosa</i> L.)	+	+	+
26	Полынь эстрагон (<i>Artemisia dracunculus</i> L.)	+	+	+
27	Синеголовник плоский (<i>Eryngium planum</i> L.)	+	+	+
28	Чертополох поникающий (<i>Carduus nutans</i> L.)	+	+	+
29	Зверобой продырявленный (<i>Hypericum perforatum</i> L.)	+	+	+
30	Жабрица порезниковая (<i>Seseli libanotis</i> (L.) W.D.J. Koch)	+	+	+
31	Гвоздика разноцветная (<i>Dianthus versicolor</i> Fisch. ex Link)	+	+	+
32	Володушка золотистая (<i>Bupleurum aureum</i> Fisch. ex Hoffm.)	–	+	+
33	Лук поникающий (<i>Allium nutans</i> L.)	–	+	+
Всего видов по годам		31	33	33

Общее проективное покрытие 95 %. Деятельность животных: незначительный выпас КРС, муравейник. Напочвенный ярус не выявлен.



Рисунок 7.36 – Фото растительного покрова на участке № 6 (контроль)

Для каждой из учетных площадок (включая контрольную площадку) были получены значения надземной продуктивности травянистого яруса (таблица 7.15).

Таблица 7.15 – Усредненные значения надземной продуктивности травянистого яруса растительных сообществ на исследованных участках, ц/га

№ учетных площадок	Мортмасса (подстилка + ветошь)	Зеленая фитомасса
1	0,7	2,0
2	8,7	24,0
3	40,0	11,2
4	14,2	15,5
5	36,4	19,4
6	38,5	78,5

Таким образом, на исследованных участках в общей сложности, по состоянию на 2022 г., отмечено 77 видов сосудистых растений, значительная часть которых является рудеральными видами [154, 242, 245, 246, 248].

Для сравнения флористических списков исследованных участков был использован коэффициент сходства Жаккара [249]. После расчета значений коэффициента Жаккара была получена симметричная матрица сходства, в

которой отражены коэффициенты сходства для каждой пары сравниваемых участков и рассчитывается по следующей формуле (7.1) [249]:

$$K_j = \frac{c}{a+b-c}, \quad (7.1)$$

где c – число видов, общих для двух попарно сравниваемых площадок; a , b – числа видов на площадках.

Размах варьирования значений K_j – от 0 (отсутствие сходства) до 1 (тождество сравниваемых участков) (таблица 7.16).

Таблица 7.16 – Значения коэффициента сходства Жаккара для сравниваемых участков по видовому составу растительного покрова

№ участков	1	2	3	4	5	6
1	1,00	0,32	0,29	0,18	0,29	0,08
2	0,32	1,00	0,23	0,28	0,23	0,18
3	0,29	0,23	1,00	0,25	0,24	0,17
4	0,18	0,28	0,25	1,00	0,28	0,27
5	0,29	0,23	0,24	0,28	1,00	0,26
6	0,08	0,18	0,17	0,27	0,26	1,00

На основе полученной матрицы с использованием программы Statistica 6 for Windows был построен дендрит сходства исследованных участков. Расчёт коэффициентов сходства Жаккара по видовому составу растительного покрова показал, что исследуемые сообщества разделились на два основных кластера.

Первый кластер объединяет группу участков с №№ 1 и 2 (эмбриозем инициальный и технозем литогенный), коэффициент сходства которых равен 0,32. На участке № 1 рекультивационные работы не проводились, а субстрат представлен эмбриоземом инициальным, а на участке № 2 рекультивационные работы показаны только техническим этапом рекультивации с формированием технозема литогенного без посева трав или высадки древесных растений [154, 242, 245, 246, 248].

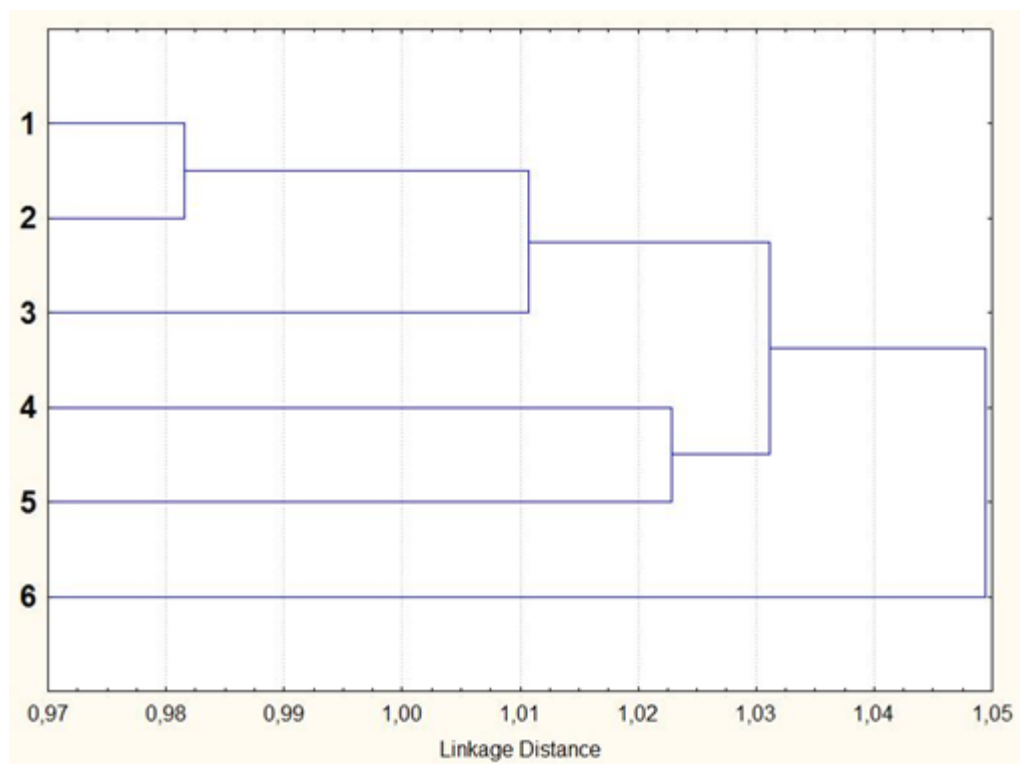


Рисунок 7.37 – Сходство исследованных участков по видовому составу растительности по рассчитанным значениям коэффициента Жаккара (с 1 по 6 – номера площадок, на которых выполнены геоботанические описания)

Таким образом, в данном кластере объединяются участки с начальной стадией сукцессии, то есть наблюдается постепенное увеличение видового разнообразия (с некоторыми колебаниями год от года) со значительным преобладанием рудеральных видов. Кроме того, данные участки характеризуются наименьшим проективным покрытием – не более 25 %, а также по надземной продуктивности травянистого яруса, суммарно, характеризуются наименьшими показателями, что может объясняться недостатком (или недоступностью) элементов питания как органических, так и неорганических (рисунок 7.37). На наблюдаемых участках фиксируются высокие значения среднегодовых и максимальных температур, что могло бы способствовать развитию микробиологической активности. Однако лимитирующим фактором для развития всех этих процессов является недостаточный уровень запасов почвенной влаги. Как показали наблюдения, уровень влагозапасов в вегетационный период на глубине 0 – 20 см находится

в нижней части интервала ВРК – ВЗ, а в середине июля опускается ниже уровня ВЗ. В слое 20 – 30 см влагозапасы еще меньше и за весь вегетационный период находятся в недоступной для растений форме [154, 242, 245, 246, 248].

Второй кластер представлен участками №№ 4 и 5 (технозем гумусогенный недифференцированный и технозем гумусогенный дифференцированный), коэффициент сходства которых равен 0,28. Данные участки характеризуются одним типом биологической рекультивации – посев многолетних трав, которая проводилась на площадке № 4 в 2013 г., а на площадке № 5 в 2011 г. (рисунок 7.37).

Промежуточное положение между двумя этими кластерами занимает участок № 3 (технозем гумусогенный недифференцированный), характеризующийся биологическим этапом рекультивации в виде посадки древесных и кустарниковых растений. По всей видимости, именно этот фактор сближает данный участок с участком № 1 (эмбриозем инициальный), коэффициент сходства 0,29, так как на нем также широко представлены древесные и кустарниковые растения, однако проективное покрытие и жизненность данных экземпляров очень низкая [154, 242, 245, 246, 248].

Таким образом, последние три участка характеризуются интенсивно протекающими в них процессами восстановления растительного покрова, то есть наблюдается постепенное увеличение доли аборигенных видов по отношению к рудеральным видам, а также постепенное увеличение видового разнообразия. Кроме того, данные участки по структуре надземной фитомассы характеризуются преобладанием мортмассы над зелёной фитомассой, что свидетельствует о формировании дернового горизонта.

Кроме того, индикаторами постепенного восстановления растительного сообщества служат множественные следы пребывания на этих участках животных – обилие нор грызунов и наличие муравейников, чего не наблюдается на площадках, которые проходят начальные стадии зарастания.

Необходимо отметить, что контрольный участок с естественной растительностью и ненарушенным почвенным покровом (№ 6) тяготеет

именно к этой группе (в частности, к участкам № 4 и № 5) с максимальными коэффициентами сходства, равными 0,27 и 0,26 [154, 242, 245, 246, 248].

Помимо прочего, был проведено распределение видов на исследованных участках по экологическим группам растений по критерию увлажнения. Итак, из представленных 77 видов (встреченных на всех площадках) 36 являются мезофитами, 27 – мезоксерофитами, 11 – ксерофитами, 2 – мезогигрофитами, 1 – псаммофитом (таблица 7.17) [242, 245, 248].

Таблица 7.17 – Распределение видов по экологическим группам растений по увлажнению в 2022 г.

№ участка	Псаммофит	Ксерофиты	Мезоксерофиты	Мезофиты	Мезогигрофиты
1	1	2	7	13	0
2	0	4	8	15	0
3	0	5	5	10	1
4	0	4	7	12	1
5	0	4	11	11	0
6	0	4	19	10	0

Наибольшие изменения по процентному соотношению экологических групп растений по увлажнению внутри каждого участка в 2022 г. наблюдаются на участке № 2 (технозем литогенный), в частности, увеличилась доля мезофитов с 47 до 56 %, а доля мезоксерофитов уменьшилась с 42 до 30 % (рисунок 7.38) [242, 245, 248].

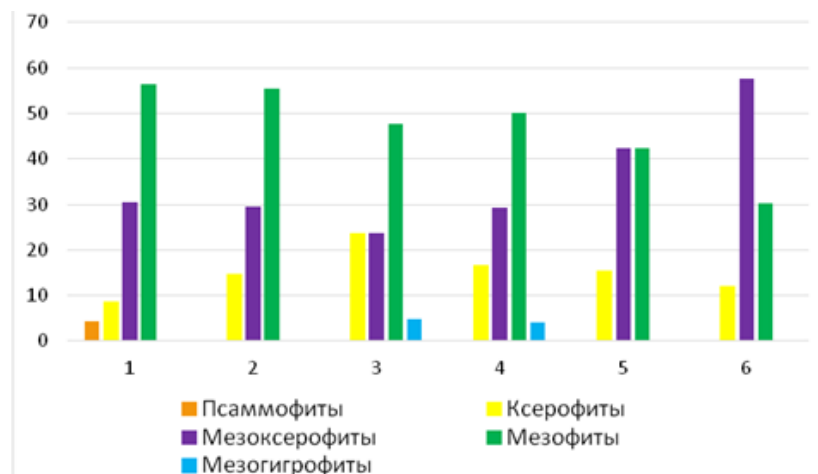


Рисунок 7.38 – Процентное соотношение экологических групп растений по увлажнению внутри каждого участка в 2022 г.

7.7 Оценка почвенно-экологического состояния участков рекультивации

Оценка почвенно-экологического состояния молодых почв техногенных ландшафтов осуществлялась также на основе картографирования почвенного покрова [42], как указана в главе 4. Дополнительно в работе была выполнена количественная диагностика почвенно-экологического состояния исследуемых участков рекультивации на основе бонитировочного подхода [194, 195].

Почвенно-экологическое состояние участков рассчитывалось по формуле (7.2) [193]:

$$\text{ПЭС}_{\text{б.б.}} = B_n K_c, \quad (7.2)$$

где

B_n – балл бонитета фоновой почвы, 100;

K_c – коэффициент специфичности свойств исследуемых почв по отношению к свойствам зональной ненарушенной, доли ед.

В проведенных расчетах коэффициент специфичности представлен в процентах, балл бонитета техноземов и эмбриоземов равен коэффициенту специфичности в процентах.

Коэффициент специфичности почвы определяется по основным почвенным показателям. Это содержание физической глины ($K_{c.ф.г.}$), плотность сложения субстрата ($K_{c.н.}$) и содержание гумуса ($K_{c.гум.}$). Если исследуемые участки находятся на склоне или ровной поверхности, необходимо учитывать коэффициент специфичности рельефа ($K_{c.рел.}$). Чем больше почвенные показатели отличаются от свойств естественных, ненарушенных почв, тем меньше K_c .

Коэффициент специфичности по содержанию физической глины рассчитывается по формуле (7.3):

$$K_{с.ф.г.} = \frac{K_{ф.г.п.тл.} \times 100}{K_{ф.г.эталон}} \quad (7.3)$$

где $K_{ф.г.п.тл.}$ – содержание физической глины в почвах техногенных ландшафтах (техноземах и эмбриоземах);

$K_{ф.г.эталон}$ – содержание физической глины в естественной почве, принятой за эталон.

Коэффициент специфичности по плотности сложения рассчитывается по формуле (7.4):

$$K_{с.п.} = \frac{П_{с.эталон} \times 100}{П_{с.п.тл.}} \quad (7.4)$$

где $П_{с.эталон}$ – плотность сложения естественной почвы, принятая за эталон;

$П_{с.п.тл.}$ – плотность сложения почв техногенных ландшафтов (техноземов и эмбриоземов);

Коэффициент содержания органического углерода определяется по формуле (7.5):

$$K_{с.с.орг.} = \frac{С_{орг.п.тл.} \times 100}{С_{орг.п.тл.эталон}} \quad (7.5)$$

где $С_{орг.п.тл.}$ – содержание органического углерода в почвах техногенных ландшафтов (техноземах и эмбриоземах);

$С_{орг.п.тл.эталон}$ – содержание органического углерода в естественной почве, принятой за эталон.

В связи с тем, что все исследуемые почвы сформированы на выравненной поверхности, $K_{с.рел.}$ равен 1.

Коэффициент специфичности почв рассчитывается как среднее значение коэффициентов специфичности по почвенным показателям с учетом мощности горизонтов по формуле (7.6.):

$$K_c = \frac{K_{с.ф.г.} + K_{с.п.} + K_{с.с.орг.} + K_{с.рел.}}{4} \quad (7.6)$$

Для расчета ПЭС взяты следующие показатели: содержание гумуса – 9 %; физической глины – 58 %; плотность сложения – 1,2 г/см³. В качестве эталона выбраны почвы – черноземы выщелоченные.

Участок № 1

Расположен на выровненной площадке. В период наблюдения на данном участке отмечаем незначительное увеличение видового разнообразия – от 20 до 23 видов с проективным покрытием не более 7 %. Древесный и кустарниковый ярусы представлены несколькими экземплярами: клёном американским (*Acer negundo* L.), сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), тополем чёрным (*Populus nigra* L.) (в 2022 г. в видовом разнообразии не был встречен) и облепихой крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.), а в травянистом ярусе – разнотравье рудеральных видов. Необходимо подчеркнуть тот факт, что все растения, представленные на данном участке, находятся в угнетенном состоянии. Возраст участка более 10 лет (рисунок 6.39) [216 – 219, 250].

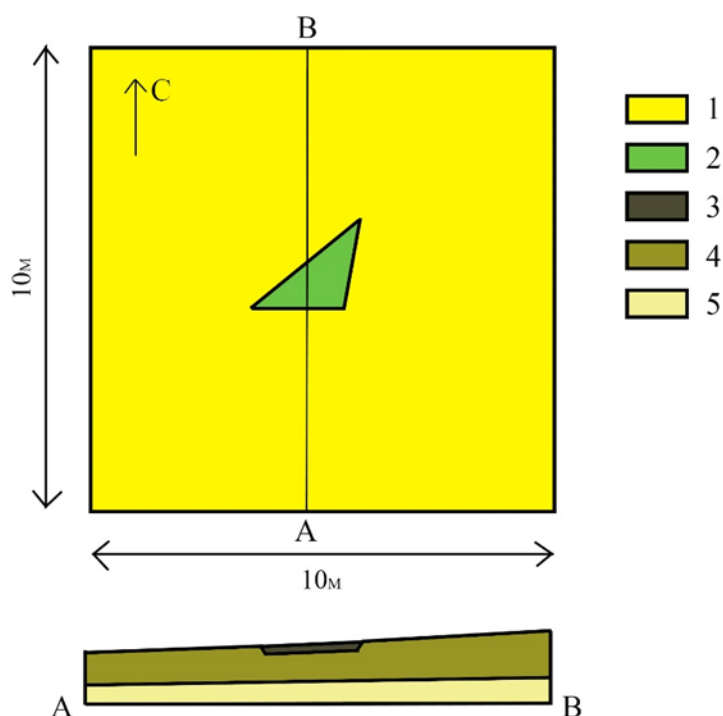


Рисунок 7.39 – Фрагмент почвенной карты участка № 1.

Эмбриоземы: 1 – инициальные; 2 – органо-аккумулятивные.

Горизонты: 3 – A₀, 4 – C₁, 5 – C₂

Участок № 2

Данный участок расположен на выровненной площадке крутизной не более 5 градусов (рисунок 7.42). Микрорельеф территории мелкобугристый. На участке была проведена планировка поверхности и отсыпка ППП (потенциально плодородных пород). Участок был оставлен под самозарастание. В структуре почвенного покрова преобладают ТЛ. Участок характеризуется большим видовым разнообразием – 34 вида (преобладающая доля рудеральных видов – характерно для начальных стадий зарастания), но при этом с очень малым проективным покрытием – не более 15 %. Доминантами выступали полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.) и пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski). Древесный ярус представлен одним экземпляром подроста вяз низкий (*Ulmus pumila* L.). Однако, при обследовании этого же участка в 2021 и в 2022 гг. было обнаружено, что видовое разнообразие постепенно снижается и варьирует в пределах от 23 до 27 видов, а по состоянию на 2022 г. сократилось до 26 видов, при этом проективное покрытие увеличилось до 35 %, и к доминантам прошлого года добавились такие доминанты, как полынь чернобыльник (*Artemisia vulgaris* L.), полынь сизая (*Artemisia glauca* Pall. ex Willd.) и люцерна серповидная (*Medicago falcata* L.). Такое изменение в видовом разнообразии свидетельствует об интенсивно протекающих начальных этапах растительной сукцессии [217, 250].

Участок № 3

Данный участок расположен на выровненной площадке с западинами. На данной территории проведена планировка поверхности с нанесением на поверхность отвала ППП (потенциально плодородные породы) и ПСП (плодородный слой почвы) с формированием ТГН. В рамках биологического этапа рекультивации нарушенных земель выполнены посадки облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) и сосны обыкновенной (*Pinus*

sylvestris L.), проективное покрытие равно 90 % с видовым разнообразием в 21 вид, среди которого в травянистом ярусе доминирует вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), а среди древесного и кустарникового яруса – облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.). Среди древесного яруса – высаженная ранее сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) с течением времени сохранила свое присутствие, а также появились берёза повислая (*Betula pendula* Roth), осина обыкновенная (*Populus tremula* L.) и клён американский (*Acer negundo* L.). Возраст участка – более 8 лет (рисунок 7.40) [217, 250].

Участок № 4

Данный участок расположен на выровненной площадке, рельеф западинно-бугристый. На поверхность была нанесена смесь из ПСП и ППП с формированием ТГН. В рамках биологического этапа рекультивации нарушенных земель выполнены посевы костреца безостыго (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub) и люцерны посевной (*Medicago sativa* L.).

Проективное покрытие равно 90 % с видовым разнообразием в 21 вид, среди которого в травянистом ярусе доминирует вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), а среди древесного и кустарникового яруса – облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.). Среди древесного яруса сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), высаженная ранее, с течением времени сохранила свое присутствие, а также появились берёза повислая (*Betula pendula* Roth), осина обыкновенная (*Populus tremula* L.) и клён американский (*Acer negundo* L.). Возраст участка – более 8 лет [217, 250].

Участок № 5

Расположен на выровненной площадке, рельеф западинно-бугристый. На поверхность отвала было проведено послойное нанесение ППП (потенциально плодородные породы) и ПСП (плодородный слой почвы), сформировался ТГД. В рамках биологического этапа рекультивации

нарушенных земель выполнен посев с использованием костреца безостыгого (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub), представлен 26 видами травянистых растений (незначительное увеличение количества по сравнению с 2020 г. – 18 видов) с проективным покрытием 80 – 85 %. Доминантами являются веерник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), мятлик степной (*Poa stepposa* (Krylov) Roshev.) и кострец безостый (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub) [217, 250].

Напочвенный ярус также представлен мхами с проективным покрытием не более 10 %. Возраст участка – более 10 лет (рисунок 7.41).

Таблица 7.18 – Свойства почв участков, определяющие их специфичность по отношению к почвам ненарушенных участков [216, 217]

Тип почв	Горизонт (глубина, см)	Содержание		Плотность, г/см ³	К _с ф.г., %	К _с гум., %	К _с п., %	К _с , %
		физ. глины, %	гумуса, %					
1. Эмбриозем инициальный (ЭИ)	C (0 – 8)	16,68	–	1,56	32	0	69	26
	D (8 – 10)	20,91	–	1,58				
2. Технозем литогенный (ТЛ)	I (0 – 6)	23,09	2,24	1,38	41	33	81	39
	II (6 – 12)	27,62	2,12	1,42				
	III (12 – 28)	20,21	4,49	1,48				
3. Технозем гумусогенный недифференцированный (ТГН)	A _d (0 – 10)	56,00	4,93	1,24	96	52	91	60
	A ₁ (20 – 30)	55,49	4,51	1,38				
4. Технозем гумусогенный недифференцированный (ТГН)	A _d (0 – 5)	57,43	8,41	1,27	98	82	91	68
	A ₁ (5 – 18)	56,67	6,37	1,35				
5. Технозем гумусогенный дифференцированный (ТГД)	A _d (0 – 11)	57,68	8,17	1,20	94	56	92	61
	A ₁ (20 – 30)	51,90	1,89	1,39				



Рисунок 7.40 – Фото участка № 3 – ТГН



Рисунок 7.41 – Фото растительного участка № 5 – ТГД



Рисунок 7.42 – Фото участка № 2 – ТЛ

Выводы по главе 7

Проведенные исследования показывают, что сформированные почвы (эмбриоземы и техноземы) на отходах углеобогащения характеризуются широким интервалом концентраций ПАУ (от 25,5 до 2248,8 нг/г). При этом в почвенных горизонтах, сформированных при отсыпке субстратов естественных почв, содержание полиаренов составляет 25,5 – 559,0 нг/г, в горизонтах D, сложенных отходами углеобогащения, равен 831,6 – 2248,8 нг/г. Превышение содержания ПАУ исследуемых почв по сравнению с отходами углеобогащения, а также состав ПАУ свидетельствуют об их образовании при трансформации органического вещества отходов в условиях отвалов. Наиболее активно эти процессы протекают в ЭИ (точка 1), где отходы углеобогащения экспонированы на поверхности. В меньшей степени выражены процессы высвобождения ПАУ в техноземах, особенно в гумусогенных дифференцированных, в которых отходы углеобогащения экранированы от поверхности слоями суглинистого (ППП) и гумусосодержащего (ПСП) материала [222].

Таким образом, установлено, что рекультивация, осуществляемая при послойном нанесении на поверхность суглинистого (ППП) и гумусосодержащего материала (ПСП), способствует консервации отходов углеобогащения. Необходимо также отметить, что техногенное накопление ПАУ происходит не только в нижних частях профиля техноземов, но и на поверхности, где оно связано с влиянием атмосферных источников ПАУ.

Доминирующим среди ПАУ в молодых почвах (техноземов и эмбриоземов), а также отходах углеобогащения является нафталин, доля которого в техногенных почвах составляет 26,3 – 68,5 % [222].

Оценка экологической безопасности исследуемых почв, проводимая с использованием подхода эквивалентов канцерогенности бенз(а)пирена (Б(а)Пэкв), показала, что все исследуемые почвы не являются токсичными. Б(а)Пэкв техноземов и эмбриоземов варьирует в пределах 0,1 до 62,4 нг/г, что

более чем на порядок ниже установленного безопасного уровня (600 нг/г). [222].

Таким образом, отходы углеобогащения целесообразно использовать как техногенный ресурс и размещать их в выработанном пространстве карьеров для создания благоприятного, устойчивого ландшафта. Технология создания техноземов из покровных суглинков и ПСП в послойном виде на поверхности долговременных размещенных отходов препятствует возникновению негативных последствий на окружающую среду и способствует устойчивому развитию растительного и почвенного покрова [222].

Анализ содержания токсичных элементов в валовой форме в техноземах и эмбриоземе доказывает, что практически все элементы содержатся в концентрациях ниже ПДК, ОДК и не превышают нормируемых показателей для зональных типов почв. Однако отмечается превышение ПДК для валовых форм мышьяка [235].

Результаты исследования почв на рекультивированных участках, сформированных на отходах углеобогащения методом биотестирования показали, что практически во всех исследуемых почвах по профилю водная вытяжка не оказывает токсического действия на живые организмы. Однако на участке, где отходы углеобогащения экспонированы на дневную поверхность и на них не были сформированы искусственные почвы – техноземы (точка 1 – ЭИ), исследуемые образцы показали отрицательное биологическое воздействие на живые организмы. На основании результатов исследований содержания полициклических ароматических углеводородов в почвах, сформированных на отходах углеобогащения, установлено, что превышение содержания ПАУ исследуемых почв по сравнению с отходами углеобогащения, а также состав ПАУ свидетельствуют об их образовании при трансформации органического вещества отходов в условиях отвалов. Наиболее активно эти процессы протекают в ЭИ (точка 1), где отходы углеобогащения экспонированы на поверхности. Возможно, этот факт оказал отрицательное биологическое воздействие на живые организмы.

По результатам комплексных многолетних научных исследований, направленных на получение актуальной информации о процессах восстановления и функционирования молодых почв и растительного покрова (техноземов и эмбриоземов), сформированных на отходах углеобогащения, установлено, что на участках ТГН с формированием корнеобитаемого слоя из ППП и ПСП (точки 3 и 4) и на участке ТГД с послойным нанесением на поверхность отвала ППП и ПСП (точка 5) сформировался устойчивый растительный покров.

Показано, что в связи с отсыпкой плодородного слоя почвы (в смешанном и послойном виде) создаются более устойчивые системы и формируются благоприятные условия, оказывающие влияние на восстановление почвенного плодородия. Проявление почвообразовательного процесса в дерновом и гумусово-аккумулятивном горизонтах способствует накоплению элементов питания. Максимальные значения содержания гумуса и элементов питания фиксируются в верхнем горизонте ТГН (точка 4) и ТГД (точка 5). Благоприятный минералогический и гранулометрический составы в этих почвах способствуют не только накоплению органического вещества, но и увеличению ёмкости катионного обмена. Поглощительная способность техноземов приближена к естественным почвам.

Содержание органического углерода, общего азота и элементов питания в верхнем слое почвенного профиля ТЛ (точка 2) незначительное и варьирует с глубиной. Этот факт обусловлен незначительной мощностью благоприятной породы на поверхности участка (не более 25 см) и слабым развитием растительного покрова, дерновый процесс в настоящее время практически не развит. Следует указать, что данный участок является самым молодым и биологический этап его рекультивации не проводился, однако на третий год геоботанических исследований было установлено увеличение проективного покрытия растительностью и наблюдалось увеличение видового разнообразия. Поэтому можно предположить, что с течением времени здесь

сформируется растительный покров, соответствующий условиям и уровню плодородия корнеобитаемого горизонта.

Установлено, что на ЭИ (участок №1/Г 1), образованного на отходах углеобогащения (без отсыпки потенциально плодородной породы и проведения биологической рекультивации), полностью отсутствуют макроморфологические признаки дифференциации почвенного профиля, почвообразовательный процесс практически не развивается, проективное покрытие растительным покровом составляет не более 7 %, и растения находятся в очень угнетенном состоянии.

Такое неблагоприятное состояние растительного покрова и молодых почв вызвано, прежде всего, высокой каменистостью субстрата, низким содержанием фракции физической глины, щелочной реакцией среды (рН 9,06 – 9,19), также дополнительной причиной угнетенного состояния растений является высокий ксероморфизм (тепловой режим и неблагоприятные водно-физические свойства отходов).

Установлено, что все исследуемые техноземы и эмбриоземы, сформированные на отходах углеобогащения, в сравнении с естественными почвами (черноземами выщелоченными) характеризуются более высокой теплообеспеченностью. Согласно классификации теплового режима (по В.Н. Димо), естественные почвы (черноземы выщелоченные) относятся к холодным, длительно и сезонно промерзающим, а все техноземы и эмбриоземы – к сезонно промерзающим, что свидетельствует о более высокой теплообеспеченности данных территорий.

Показано, что сумма температур выше 10 °С в верхнем 5-сантиметровом слое техноземов и эмбриоземов изменяется в широком диапазоне. Максимальные значения зафиксированы в ЭИ и превышают 2500 °С. В ТЛ (точка 2) сумма температур выше 10 °С приближается к 2400 °С. В ТГН (точка 4), где корнеобитаемый слой сложен из смеси ППП и ПСП, сумма биологически активных температур ниже, и она максимально приближена к таковой температуре зональных почв.

Выявлено, что при измерении теплового режима в ЭИ (точка 1) за летний период наблюдения была зафиксирована максимальная среднесуточная температура, которая составила 31,0 °С (глубина 5 см), что выше на 3,1 °С в сравнении с аналогичной глубиной естественных почв. Максимальная температура данных почв составила 40,5 °С (глубина 5 см), что на 18,5 °С теплее естественных почв (контрольный вариант). Тенденция изменения температуры наблюдается на глубине 35 см и составляет 26,5 °С, что теплее естественной почвы на 6 °С. По результатам наблюдения за устойчивым переходом в сторону отрицательных и положительных температур техноземов и эмбриоземов в сравнении с контрольным вариантом следует, что в зимний период времени с увеличением глубины ЭИ (точка 1) и ТЛ (точка 2) быстрее выхолаживаются, а в весенний период – интенсивнее прогреваются.

Анализ водного режима исследуемых почв на участках рекультивации показал значительные отклонения от водного режима естественных почв. Это проявляется в дефиците влажности корнеобитаемого слоя, причем на участках 1 (ЭИ, верхний слой отсыпан отходами углеобогащения) и 2 (ТЛ, верхний слой отсыпан легкими супесями) в корнеобитаемом слое (0 – 20 см) дефицит влаги наблюдается на протяжении всего вегетационного периода.

В техноземе гумусогенном дифференцированном (точка 5) запасы влаги схожи с таковыми в естественной почве. Создание на поверхности техноземов из гумусированного плодородного слоя почвы и потенциально плодородных пород способствует улучшению почвенно-физических условий, складывающихся в слое ПСП, и, следовательно, водного режима исследуемых почв.

Установлено, что на участках с формированием искусственных почв – техноземов, где корнеобитаемый слой представлен из плодородного слоя и потенциально плодородной породы (лессовидных суглинков) на отходах углеобогащения, в настоящее время интенсивно протекают процессы восстановления растительного покрова. Видовой состав растительности на

участках изменяется от 21 до 26 видов, проективное покрытие от 85 до 90 % [242, 245, 248].

Расчёт коэффициентов сходства Жаккара по видовому составу растительного покрова показал, что исследуемые растительные сообщества на участках, где корнеобитаемый слой сформирован из плодородного слоя почвы и потенциально плодородной породы (лессовидных суглинков), характеризуются интенсивно протекающими в них процессами восстановления растительного покрова, то есть наблюдается постепенное увеличение доли аборигенных видов по отношению к рудеральным видам, а также постепенное увеличение видового разнообразия. Кроме того, данные участки по структуре надземной фитомассы характеризуются преобладанием мортмассы над зелёной фитомассой, что свидетельствует о формировании дернового горизонта. Необходимо отметить, что контрольный участок с естественной растительностью и ненарушенным почвенным покровом (№ 6) тяготеет именно к этой группе (в частности, к участкам № 4 и № 5) с максимальными коэффициентами сходства, равными 0,27 и 0,26 [154, 242, 245, 246, 248].

Показано, что на участке с эмбриозом инициальном (геоботаническое описание участка № 1), где корнеобитаемый слой представлен породой углеобогащения, в период 2020 – 2022 гг. наблюдается незначительное увеличение видового разнообразия – с 20 до 23 видов с проективным покрытием не более 7 %. Необходимо подчеркнуть тот факт, что все представленные на данном участке растения находятся в угнетенном состоянии [154, 242, 245, 246, 248]. Таким образом, отсыпка этих материалов на спланированную поверхность отходов углеобогащения позволяет достаточно быстро сформировать устойчивый растительный покров.

Проведенные расчеты показали, что все исследуемые участки можно разделить на три группы: с очень хорошим почвенно-экологическим состоянием; с удовлетворительным и с неудовлетворительным. К первой группе относятся участки 3, 4 и 5 (возрастом менее 20 лет) с техноземами

гумусогенными (60 – 68 %), несмотря на то, что они имеют разную мощность отсыпанного корнеобитаемого слоя, представленный ПСП (участки №№ 3, 4 и 5) и ПСП, нанесенный на ППС послойно (участок № 5). Причем вариант с послойным размещением ПСП и ППС, несмотря на большую мощность нанесенного слоя, характеризуется меньшими показателями ПЭС, что обусловлено меньшими показателями содержания гумуса [216 – 219].

В связи с малым содержанием гумусовых веществ в насыпном горизонте технозема литогенного (участок № 2), его малой мощностью нанесенного слоя из ППС и высокой плотностью субстрата, ПЭС характеризуется как удовлетворительное (39 %) (таблица 6.18) [216 – 219].

Самыми неблагоприятными свойствами и слабым развитием почвообразовательного процесса характеризуются ЭИ на участке № 1. Данный участок представляет собой вариант, на котором была проведена грубая планировка поверхности, без нанесения ПСП и ППС, а поверхностный субстрат образован смесью из отходов углеобогащения. Здесь практически отсутствует растительность и ПЭС этого участка характеризуется как неудовлетворительное (26 %). Необходимо подчеркнуть, что это один из самых старых участков (более 10 лет после отсыпки). Поэтому можно предположить, что без проведения рекультивационных работ по улучшению агрофизических и агрохимических свойств субстрата данного участка, его неблагоприятное ПЭС может сохраняться в течение длительного времени [216 – 219].

Проведенные исследования показали, что применение плодородного слоя почвы в технологии рекультивации нарушенных земель для формирования корнеобитаемого слоя позволяет получить высокие значения ПЭС, что позволяет создавать достаточно устойчивый растительный покров на исследуемых участках.

Размещение отходов углеобогащения в качестве подстилающей породы может быть эффективно для образования устойчивой основы при формировании корнеобитаемого слоя. Однако в некоторых случаях это может

приводить к повышению рН в отсыпанном корнеобитаемом слое. Для уменьшения этого негативного явления, а также для улучшения гидротермического режима рекультивированных почв необходимо формирование изолирующего, экранирующего слоя из инертных пород на границе отходов углеобогащения и отсыпки корнеобитаемого слоя, а также увеличение мощности отсыпки ПСП и ППС [216 – 219].

Глава 8 Разработка научно-технологических основ рационального использования природных и техногенных ресурсов для реализации экологически эффективных технологий рекультивации земель в экономике замкнутого цикла предприятий

8.1 Научно-технологические основы рационального использования литогенных ресурсов для рекультивации нарушенных земель

На основании результатов апробации в полевых условиях установлено, что формирование техноземов гумусогенных в горно-таежной подзоне Кузбасса из смеси плодородного слоя почвы (ПСП) и четвертичных отложений I категории является наиболее экологически эффективной технологией использования литогенных ресурсов. Показано, что, уже в первые годы функционирования экспериментального участка на полигоне по данной технологии наблюдается активное восстановление фитоценозов, участок характеризуется наибольшим видовым разнообразием (52 вида), минимальной долей сорных видов растений (15 %), наибольшей продуктивностью – 59, 20 ц/га. Использование плодородного слоя почвы в составе корнеобитаемого слоя техноземов, снятого в процессе вскрытия новых участков, обеспечивает сохранение «банка» семян и зачатков растений, что способствует ускоренному восстановлению аборигенных видов растений и естественной экосистемы на нарушенных участках.

Кроме того, анализ результатов исследований физических и водно-физических свойств показал, что во всех техноземах – как сформированных из смеси ПСП и четвертичных отложений I категории, так и на основе четвертичных отложений II категории – происходят активные изменения в твердой фазе почвы. В частности, отмечается увеличение доли мелкозема и физической глины, снижение плотности сложения и закономерное увеличение порозности, особенно в поверхностном слое.

Это в свою очередь обеспечивает хорошие запасы доступной влаги для растений. Установлено, что водный режим всех техноземов на протяжении

практически всего вегетационного периода находился в диапазоне легкодоступной влаги (НВ – ВРК) и не опускался ниже влажности завядания (ВЗ), при которой влага становится недоступной для растений, вызывая их устойчивое завядание.

Развитие и устойчивое функционирование растительного и почвенного покрова со своим уникальным набором почвенной биоты на техногенно нарушенных территориях зависит от условий, созданных на техническом этапе рекультивации нарушенных земель, как показали результаты проведенных исследований, главным образом от качества пород, слагающих корнеобитаемый слой молодых почв.

Сохранить и рационально использовать литогенные ресурсы для создания техноземов на техногенных ландшафтах можно только в процессе ведения горных работ.

Сохранить литогенные ресурсы рекультивации можно следующими способами [251 – 255]:

1. После проведения подготовительных работ: при вскрытии участка предлагается смесь из плодородного слоя почвы и четвертичных отложений транспортировать на внешний отвал (отвал, достигший конечной высоты и готовый к горнотехническому этапу рекультивации земель) для нанесения на поверхность рекультивационного, корнеобитаемого слоя с целью создания техноземов. Весь процесс осуществляется как один производственный цикл.

На рисунке 8.1 показано, что на участке горных работ № 2 выполнены все подготовительные работы и он готов к разработке. Отрабатываются плодородный слой почвы и четвертичные отложения в смешанном виде и транспортируются на отвал, подлежащий горнотехнической рекультивации для формирования рекультивационного слоя и создания техноземов из ценных литогенных ресурсов. Все горнотранспортные работы выполняются имеющейся техникой на разрезе в соответствии с техническим проектом. Такой вариант целесообразен при условии размещения внешних или внутренних отвалов вблизи с вновь разрабатываемым участком (до 7 км).

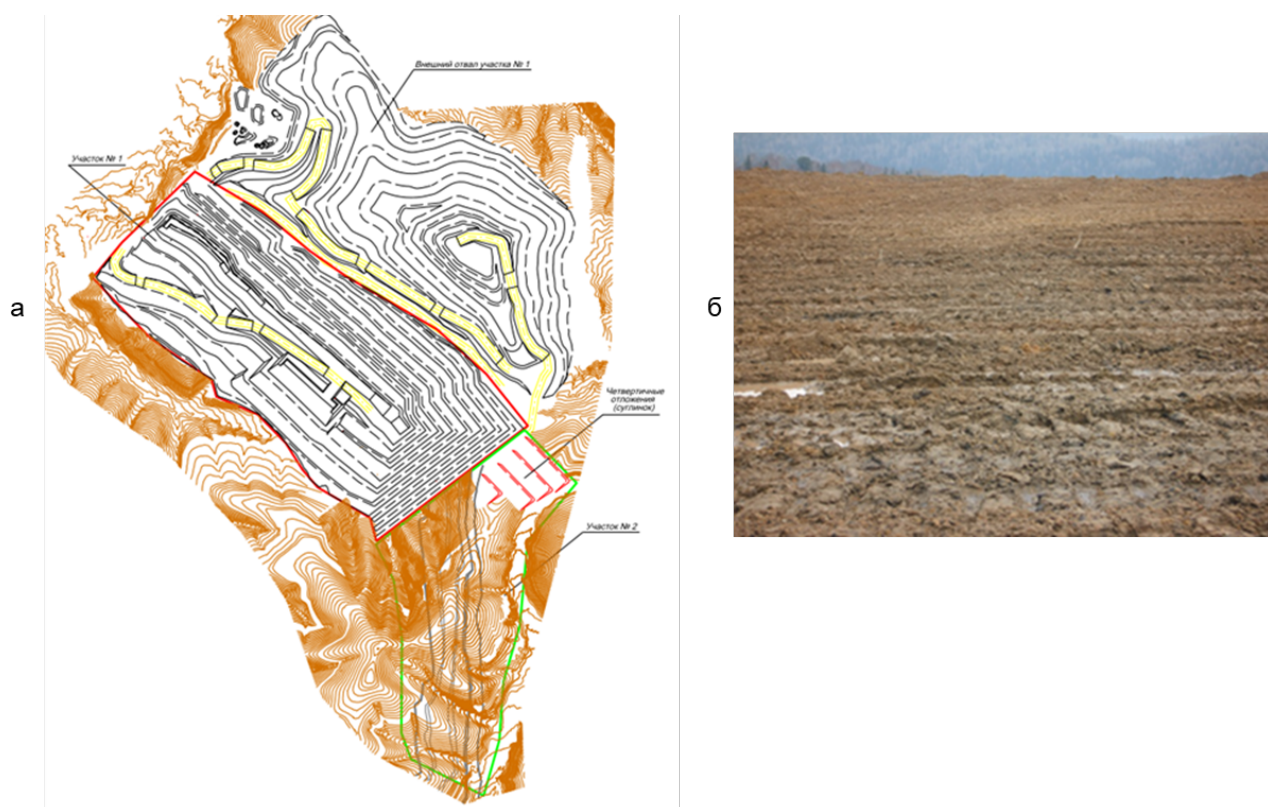


Рисунок 8.1 – а) план горных работ; б) формирование рекультивационного слоя

2. Наиболее экологически эффективным вариантом рационального использования ценных литогенных ресурсов являются формирование внешних отвалов с отсыпкой всех ярусов отвала одновременно с рекультивацией земель вблизи с разрабатываемым участком горных работ [251].

Данный способ отвалообразования осуществляется в два этапа.

Особенность первого этапа заключается в том, чтобы часть внешнего отвала (I этап) в кратчайшие сроки смогла достигнуть своей проектной высоты. На первом этапе отвалообразования, при формировании первого яруса, часть вынутых четвертичных отложений (не более 20 %) смешивают с отвальной массой коренных пород, размещенных в теле отвала, или, если есть возможность, размещают вблизи внешнего отвала. Техническая рекультивация осуществляется после достижения предельной высоты части отвала (выполаживание откосов ярусов). Далее, при развитии горных работ из карьерной выемки литогенные ресурсы (плодородный слой почвы и

четвертичные отложения) транспортируются автосамосвалами на отвал для отсыпки рекультивационного, корнеобитаемого слоя. После формирования техноземов на поверхности отвала осуществляется биологический этап рекультивации.

Второй этап – после достижения предельной высоты части отвала (I этап) вскрышные породы транспортируются на оставшуюся часть отвала (II этап), и далее часть отвала также подлежит технической и биологической рекультивации [251].

Такая технология позволяет совмещать процесс отвалообразования и рекультивации с сохранением ценных литогенных ресурсов (почвенных и четвертичных отложений) для рекультивации поверхности (плато) и откосов отвала, кроме того, отсыпка рекультивационного слоя из плодородного слоя почвы и четвертичных отложений на поверхности отвала обеспечит ему более устойчивое положение, так как в теле отвала будет снижена доля четвертичных отложений в общем объёме всех вскрышных пород, что особенно актуально в условиях эколого-географических районах с избыточным увлажнением.

Важно отметить, что такие работы следует планировать при соблюдении всех требований безопасности ведения горных работ открытым способом и работ, включенных в проектную документацию.

На рисунках (рисунки 8.2 – 8.3) показан пример плана горных работ по формированию внешнего отвала, этапы отсыпки отвала, техническая и биологическая рекультивация отвала.

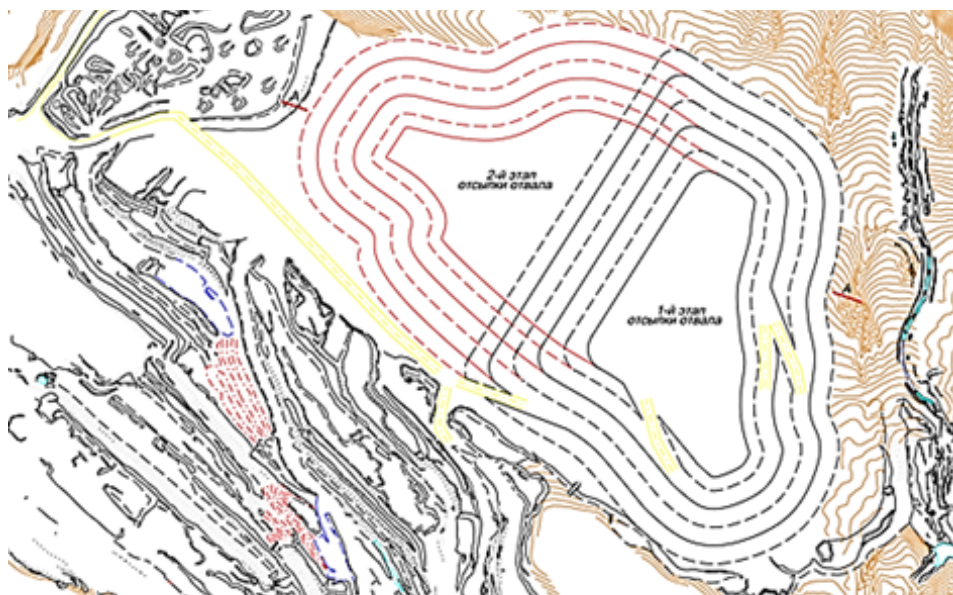


Рисунок 8.2 – План горных работ по формированию отвала

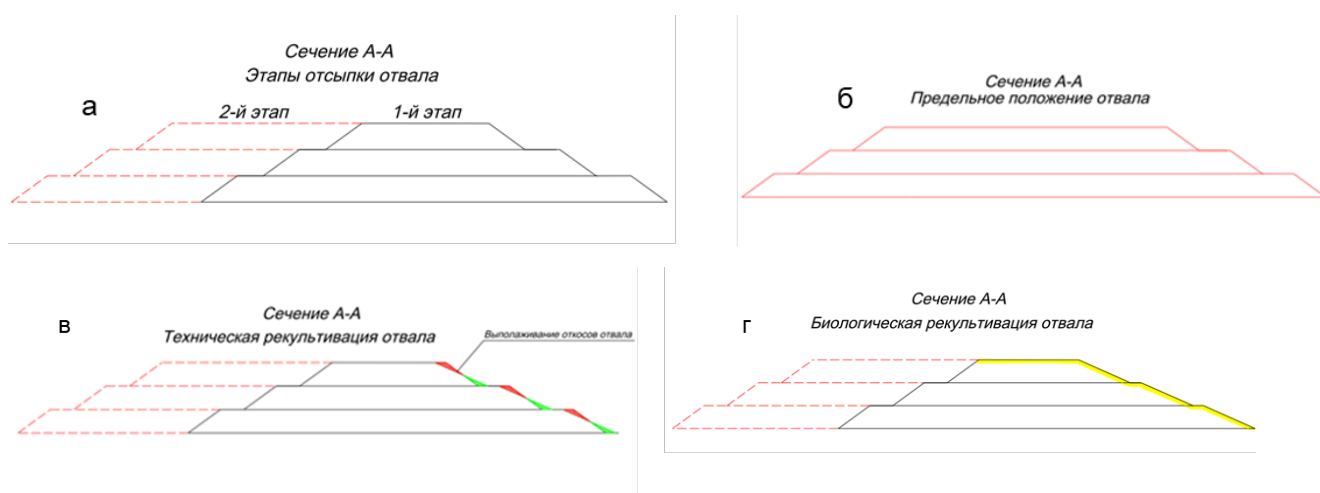


Рисунок 8.3 – Формирование внешнего отвала вблизи с разрабатываемым участком: а) этапы отсыпки отвала; б) предельное положение отвала; в) техническая рекультивация отвала; г) биологическая рекультивация отвала

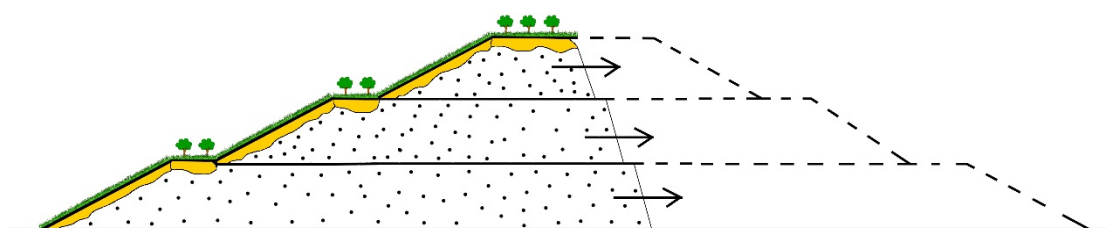


Рисунок 8.4 – Биологическая рекультивация отвала

3. При невозможности применять вышеуказанные способы отвалообразования, можно после вскрытия верхних четвертичных отложений

ценные ресурсы транспортировать на участки временного склада в пределах горного отвода (рисунок 8.5). При этом, следует отметить, что в эколого-географических районах с избыточным увлажнением и достаточной теплообеспеченностью временные склады длительного хранения очень быстро будут зарастать растительностью, в том числе древесной [251].

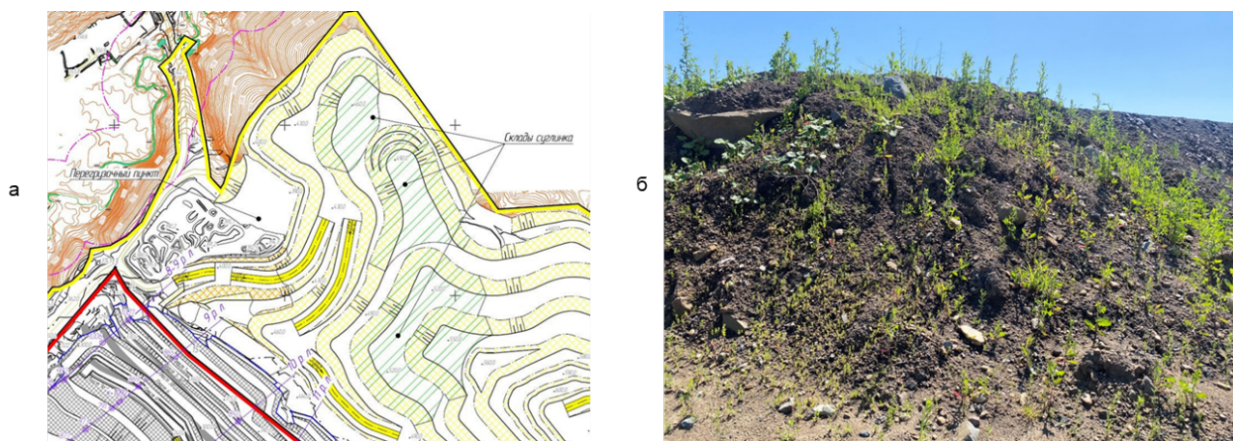


Рисунок 8.5 – а) план расположения временных складов четвертичных отложений; б) развитие растительного покрова

Важнейшим условием для создания благоприятных условий для развития растительного и почвенного покрова является предварительная подготовка поверхности отвалов до этапа формирования техноземов. Из результатов проведенных исследований следует, что поверхность отвалов, сложенная из техногенного элювия (основные вскрышные породы), очень сильно уплотнена и плотность сложения созданных техноземов может изменяться по слоям от 1,8 до 2,3 г/см³, такая плотность сложения практически сопоставима с плотностью асфальта (от 2,2 до 2,5 г/см³). Высокая плотность почв оказывает негативное влияние на развитие растений на отвалах. Поэтому рекомендуется перед нанесением и формированием рекультивационного слоя поверхность отвалов взрыхлить на глубину не менее 0,5 м мощным рыхлителем (это может быть клык бульдозера). Благодаря рыхлению каменистого, плотного техногенного элювия четвертичные отложения проникают в глубь отвала по трещинам, тем самым происходит обогащение субстрата техногенного элювия фракцией физической глины. Содержание

глинистых минералов в субстрате техногенного элювия увеличится, и со временем будет формироваться благоприятная среда для развития биохимического выветривания. Кроме того, будет создана возможность для развития корневой системы древесных растений до необходимой глубины (2 – 2,5 м) [251].

После проведения предварительного рыхления на поверхность отвала следует отсыпать четвертичные отложения в смеси или послойно (ПСП и четвертичные отложения I или II категории), затем формировать техноземы. Техноземы следует формировать бульдозером гусеничным или погрузчиком, не уплотняя, с благоприятным рельефом (планировка поверхности с уклоном не более 5 градусов).

Также при дефиците почвенных ресурсов и покровных суглинков создавать техноземы можно из техногенного элювия основных вскрышных пород (песчаники, алевролиты, аргиллиты), принудительно измельченных на дробильно-сортировочных комплексах. Для сглаживания неблагоприятных гидротермических условий в первые годы посттехногенного функционирования техногенных ландшафтов после рекультивации на поверхности измельченного техногенного элювия следует размещать четвертичные отложения мощностью не менее 0,25 м. Результаты проведенных ранее исследований показали, что основные вскрышные породы (песчаники, алевролиты, аргиллиты) горно-таежной подзоны Кузбасса являются нетоксичными и безопасны для биологического освоения. Но для создания техноземов являются непригодными только по физическим свойствам (высокая плотность и каменистость, незначительная доля глинистых минералов, темно-серая поверхность пород) [256]. При увеличении дисперсности вскрышных пород увеличивается площадь активной поверхности и минералогический состав вскрышных пород будет способствовать созданию «депо» доступной влаги для растений. Поэтому максимально возможное измельчение основных вскрышных пород с

использованием дробильно-сортировочных комплексов приведет к улучшению физических свойств.

Особо следует отметить, что изучаемая территория отличается избыточным увлажнением и мощным снежным покровом (более 2 м), гидротермический коэффициент увлажнения по Г.Т. Селянинову приближен к 2, поэтому внимание следует уделять защите откосной части отвалов от эрозионных процессов. В связи с тем, что внешние отвалы на разрезах, подлежащие рекультивации, как правило, имеют многоярусное сложение и высота ярусов достигает 30 м, рекомендуется выполаживание откосной части отвалов до 25 градусов с террасированием [251].

Из проведенных исследований следует, что откосная часть с уклоном более 25 градусов и длиной склона более 50 м на данной территории без отсутствия террас приводит к процессам солюфлюкции, эрозионным и оползневым явлениям (глубокие впадины, овраги). Развитие почвообразовательного процесса отсутствует из-за постоянного смыва мелкоземистой фракции к подножью отвала и миграции элементов питания, соответственно зарастания почвопокровными травами откосной части отвалов не происходит [214].

Для повышения почвенно-экологической эффективности рекультивации откосы рекомендуется покрывать четвертичными отложениями II категории мощностью не более 0,2 м. Четвертичные отложения следует укладывать при отсыпке последней отвальной заходки по всему периметру яруса, под воздействием активных атмосферных осадков четвертичные отложения будут попадать в пустоты техногенного элювия и способствовать его задержанию. Отсыпку поверхности откосной части отвалов следует проводить в сухой период времени [251].

Для рекультивации откосов с ускоренным задержанием травянистым покровом после завершения покрытия откосной части четвертичными отложениями предлагается использовать гидропосев полосным способом с травосмесями из низового злака – мятлика лугового (*Poa angustifolia* L.),

бобовых – клевера белого (*Amoria repens* (L.) C. Presl.), костреца безостого (*Bromus inermis*) (рисунок 8.6) [251].

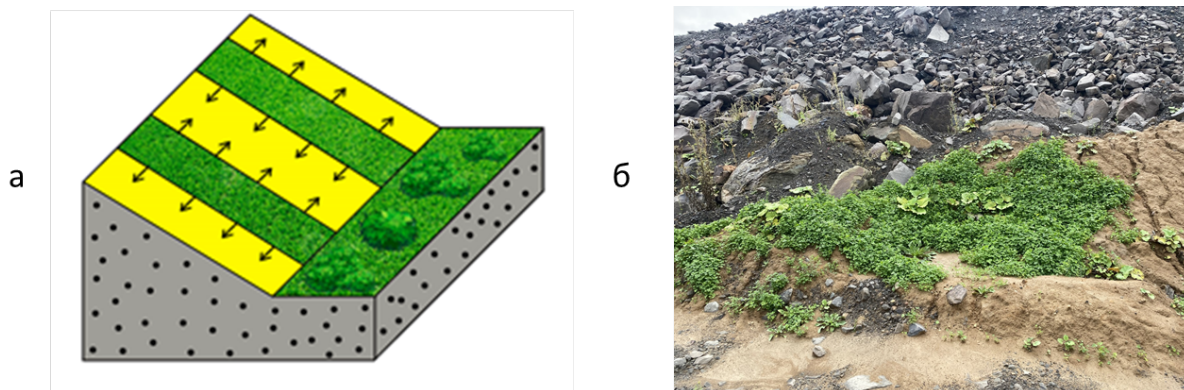


Рисунок 8.6 – Использование гидропосева полосным способом на откосах внешних отвалов с нанесением четвертичных отложений

Результаты исследований показали, что использование гидропосева полосным способом на откосах внешних отвалов с нанесением четвертичных отложений со временем способствует активному распространению растительного покрова на прилегающие участки без гидропосева.

На откосной части отвала рекомендуется высаживать 100 % семян с закрытой корневой системой (1 – 2-летние сеянцы) в зависимости от экспозиции склона отвала [251]:

- **южная экспозиция:** сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), карагана древовидная (*Caragana arborescens*);
- **северо и северо-западная экспозиции:** ива (*Salix*), береза повислая (*Betula pubescens*), осина (*Populus tremula*).

Также рекомендуется применение органно-минеральных удобрений для компенсации недостатка основных элементов питания.

Объекты исследования находятся в горно-таежной подзоне Кузбасса, где естественные почвы прилегающей территории представлены, в основном горно-лесными бурыми почвами (буроземами). Результаты режимных наблюдений за водно-физическими параметрами показали: для обеспечения водоудерживающей способности техноземов и стабильного функционирования фитоценозов минимальная мощность корнеобитаемого

слоя из смеси плодородного слоя почвы и четвертичных отложений I категории должна составлять не менее 0,4 м. Мощность корнеобитаемого слоя из четвертичных отложений II категории – 0,6 м.

Таким образом, научно обоснован способ экологически эффективной технологии рекультивации земель и создание искусственных почв – техноземов гумусогенных в горно-таежной подзоне Кемеровской области – Кузбасса из смеси плодородного слоя почвы и четвертичных отложений (I категории). Установлено, что уже в первые годы функционирования экспериментальных участков на рекультивированных по данной технологии почвах наблюдается активное восстановление фитоценозов, участок характеризуется наибольшим видовым разнообразием (52 вида), минимальной долей сорных видов растений (15 %), наибольшей продуктивностью – 59,20 ц/га. Использование плодородного слоя почвы в составе корнеобитаемого слоя техноземов, снятого в процессе вскрытия новых участков, обеспечивает сохранение «банка» семян и зачатков растений, что способствует ускоренному восстановлению аборигенных видов растений и естественной экосистемы на нарушенных участках и может исключать необходимость выполнения посадки деревьев, т.е. биологического этапа рекультивации.

По результатам исследований (приживаемость, прирост биомассы) наиболее предпочтительной схемой посадки лесных культур на техноземе гумусогенном недифференцированном является следующая схема: весь периметр участка рекультивации засаживается березой пушистой (*Betula pubescens*), внутри участка рекомендуется чередование в рядах: 3 культуры березы пушистой (*Betula pubescens*) / 1 культура рябины сибирской (*Sorbus sibirica*) / сосны сибирской 1 культура (*Pinus sibirica*) / караганы древовидной (*Caragana arborescens*) / 3 березы пушистой (*Betula pubescens*).

При дефиците плодородного слоя почвы и четвертичных отложений (I категории) для создания техноземов целесообразно использование четвертичных отложений (смесь суглинков с включением слабоокатанной гальки, щебня коренных пород и выветрелого песчаника II категории) [256].

Также анализ полученных результатов показал, что наиболее предпочтительными схемами посадки лесных культур на техноземе литогенном являются [251]:

- по периметру участка рекультивации высаживается лиственница сибирская (*Larix sibirica*) (с северной и восточной стороны участка) и береза пушистая (*Betula pubescens*) (с южной стороны). В центре участка – сосна сибирская (*Pinus sibirica*), пихта сибирская (*Abies sibirica*) с диагональным чередованием в рядах 2 культуры пихты сибирской (*Abies sibirica*) и 1 культура сосны сибирской (*Pinus sibirica*);

- на участке рекультивации ряды липы сердцевидной (*Tilia cordata*) можно размещать сплошняком, но в каждом ряду через каждые 4 культуры липы сердцевидной (*Tilia cordata*) высаживаются по 1 культуре пихты сибирской (*Abies sibirica*) или сосна сибирская (*Pinus sibirica*), с чередованием между собой;

- по периметру участка рекультивации можно высаживать спирею среднюю (*Spiraea media*). В шахматном порядке равномерно распределяется сосна сибирская (*Pinus sibirica*) в 5 посадочных ямах друг от друга. Вокруг каждой лесной культуры сосны сибирской (*Pinus sibirica*) высаживается по 1 культуре рябины сибирской (*Sorbus sibirica*), караганы древовидной (*Caragana arborescens*), черемухи обыкновенной (*Padus avium*) и калины обыкновенной (*Viburnum opulus*). Затем вторым кругом вокруг экземпляров сосны сибирской (*Pinus sibirica*) высаживается осина (*Populus tremula*). В оставшиеся лунки размещается ель обыкновенная (*Picea abies*).

Результаты исследований показали, что вышеперечисленные лесные культуры и посадочные схемы в соответствии с методическими рекомендациями [156] для рекультивации земель хорошо себя зарекомендовали на техноземах из разных литогенных ресурсов (приживаемость, накопление биомассы), а также способствуют увеличению видового разнообразия аборигенных видов растений на техногенно нарушенных территориях.

8.2 Геоэкологические рекомендации по предпроектному анализу и оценке природных ресурсов для рекультивации земель в экономике замкнутого цикла на предприятиях по добыче угля

Предложенные геоэкологические рекомендации по предпроектному анализу использования природных и техногенных ресурсов для рекультивации земель в экономике замкнутого цикла (использование собственных ресурсов) на предприятиях по добыче угля представляет собой алгоритм действий, который позволяет обосновать технологию, выбрать эффективные решения восполнения недостатка литогенных ресурсов для экологически эффективной рекультивации нарушенных земель и использовать их при выполнении технической проектной документации на разработку месторождения полезных ископаемых.

Выбор технологии осуществляется на основе предварительной оценки почвенно-экологической эффективности технологий рекультивации с различным уровнем использования литогенных ресурсов. Предложенные рекомендации учитывают воздействие природно-климатических факторов на скорость почвообразовательного процесса и развитие растительного покрова в горно-таежной подзоне Кузбасса (рисунок 8.8).

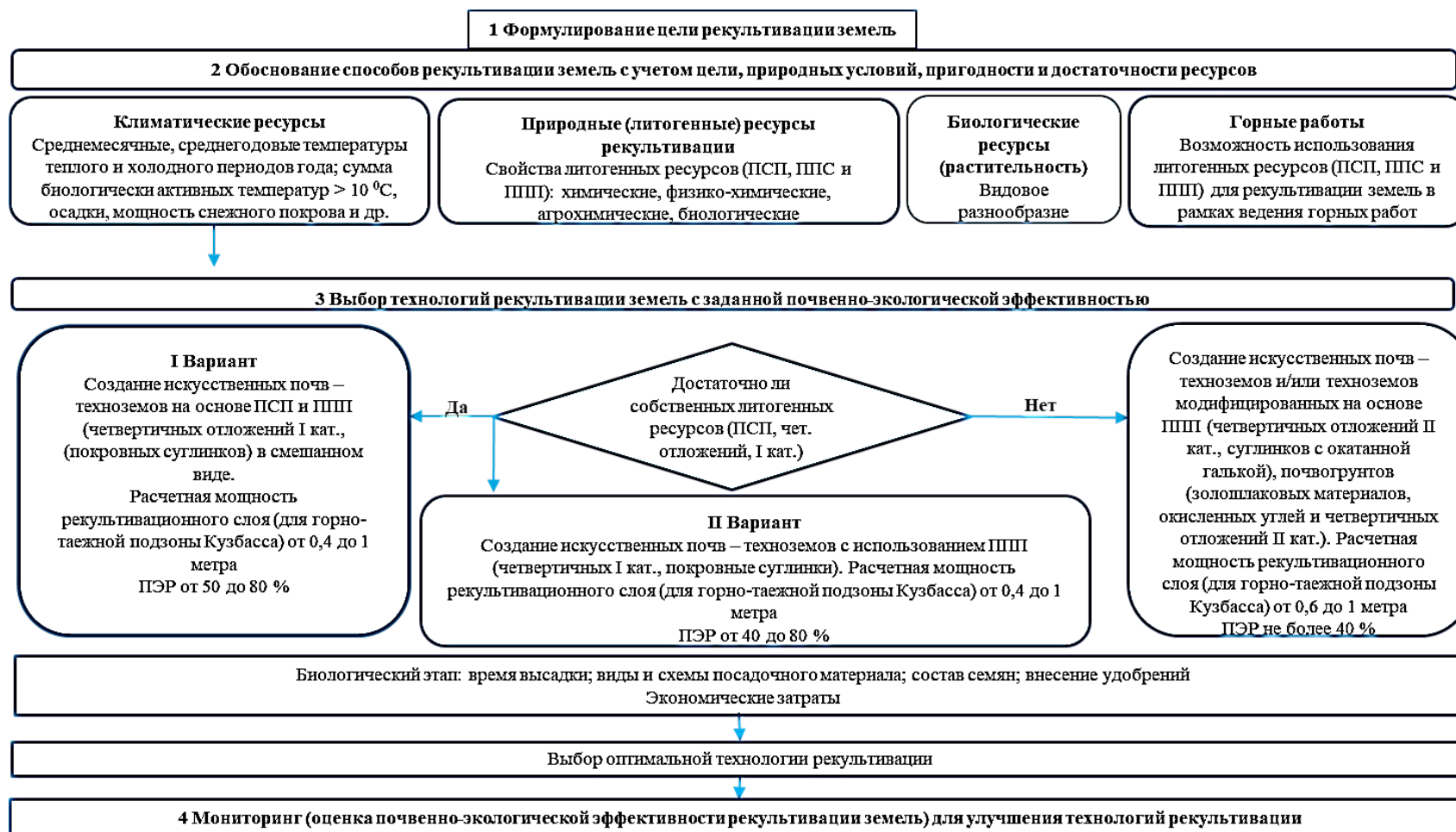


Рисунок 8.8 – Геоэкологическая схема предпроектного анализа и оценки природных ресурсов для рекультивации земель с использованием природных ресурсов, которые учитывают воздействие природно-климатических факторов на скорость развития растительного и почвенного покрова (на примере горно-таежной подзоны Кузбасса)

На схеме геоэкологических рекомендаций представлены основные этапы и последовательность действий по выбору направлений и технологий рекультивации земель с определенными параметрами почвенно-экологической эффективности (на примере АО «Разрез Распадский») (рисунок 8.8).

1 этап. Формулирование цели рекультивации.

Определяется направление и вид угодий, которые необходимо восстановить в процессе рекультивации земель. Направление рекультивации определяется согласно ГОСТ Р 59060 – 2020 «Охрана окружающей среды ЗЕМЛИ Классификация нарушенных земель».

2 этап. Обоснование направления и эффективности рекультивации земель с учетом цели, условий, критериев пригодности и достаточности ресурсов

На втором этапе необходимо оценить существующие условия и ресурсы на исследуемой территории: литогенные (качественный состав ПСП и ППП, четвертичные отложения I и II категории), климатические (основные климатические параметры, влияющие на обеспечение влагой и теплом рекультивационных участков, что определяет условия развития биоценозов и перспективы восстановления почв и экосистем на нарушенных ландшафтах). В соответствии с горно-геологическими условиями и техническими возможностями горнодобывающего предприятия определяются возможности использования литогенных ресурсов для рекультивации земель в процессе ведения горных работ. После выполнения анализа природных (литогенных, климатических и биологических (растительность)) ресурсов выполняется обоснование направления рекультивации земель с учетом цели, природных условий, пригодности и достаточности ресурсов для выполнения работ по восстановлению техногенных ландшафтов.

Климатические природные ресурсы

Основными климатическими параметрами, влияющими на выполнение рекультивационных работ, являются: среднемесячные, среднегодовые

температуры теплого и холодного периодов года; сумма биологически активных температур $>10^{\circ}\text{C}$, осадки, мощность снежного покрова и др. Это связано с тем, что данные параметры влияют на обеспечение влагой и теплом рекультивационные участки, что определяет условия развития биоценозов и перспективы восстановления почв и экосистем на нарушенных ландшафтах. Также данные показатели влияют на определение мощности формируемого корнеобитаемого слоя на поверхности отвалов, которые подлежат рекультивации.

Литогенные ресурсы для рекультивации земель

Наиболее ценными для рекультивации литогенными ресурсами являются ПСП и четвертичные отложения I категории, к ним относятся, в основном, четвертичные отложения (покровные суглинки). Для оценки пригодности определяются основные свойства литогенных ресурсов: химические (валовые и подвижные формы токсичных элементов; элементный состав); физико-химические (плотность пород, плотность сложения почв, гранулометрический состав (содержание фракции физической глины и мелкозема, ЕКО, pH, засоленность по сухому остатку)); агрохимические (органический углерод, азот общий, подвижные формы фосфора и калия). На основе полученных результатов устанавливается категория пригодности пород для рекультивации земель. Также на этом этапе определяются имеющиеся объёмы пригодных пород и рассчитывается необходимый объем с учетом оптимальной мощности корнеобитаемого слоя для создания искусственных почв – техноземов.

Биологические природные ресурсы (растительность)

Биологические ресурсы (растительность) обеспечивают восстановление растительного покрова на нарушенных землях, способствуют развитию почвенных свойств в корнеобитаемом слое и устойчивости рекультивированных почв к различным нарушениям. Богатый видовой состав естественных фитоценозов и близость ненарушенных территорий к отвалам (от 500 м до 1 км) способствуют при благоприятных почвенно-экологических

условиях активному развитию фитоценозов на участках после рекультивации земель. Видовое разнообразие оценивается на основе геоботанического описания и используется при подборе посадочного материала, травосмесей для выполнения биологического этапа рекультивации земель.

Горные работы

В соответствии с горно-геологическими условиями и техническими возможностями горнодобывающего предприятия определяются возможности использования литогенных ресурсов для рекультивации земель в процессе ведения горных работ.

Восстановление и устойчивое функционирование рекультивированных участков определяется развитием растительного и почвенного покрова на техногенно нарушенных территориях и зависит от условий, созданных на техническом этапе рекультивации земель. Направление восстановления нарушенных земель выбирается согласно цели рекультивации и горнотехнической возможности рационального использования литогенных или техногенных ресурсов для рекультивации. Уровень применения ресурсов определяет эффективность рекультивационных работ и возможность повторного использования восстановленных участков для хозяйственных целей региона.

На начальном этапе эффективность рекультивации, главным образом зависит от качества пород, слагающих корнеобитаемый слой. Основными критериями пригодности литогенных ресурсов для рекультивации земель являются требования ГОСТ 17.5.1.03 – 86 «Охрана природы. Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель». Также в работе установлено, что основными критериями пригодности пород, которые определяют потенциал их к развитию растительного покрова и процессов почвообразования являются: содержание фракции физической глины и мелкозема в породе, плотность породы, содержание органического углерода, реакция среды. Наличие достаточного количества литогенных ресурсов (пригодных пород) для

рекультивации и их рациональное использование обеспечивают высокую эффективность рекультивации земель по разным направлениям.

Эффективность рекультивации зависит от сформированной мощности корнеобитаемого слоя на поверхности техногенного ландшафта. Для определения оптимальной мощности этого слоя используются параметры среднегодового количества атмосферных осадков и водоудерживающей способности материалов насыпного, корнеобитаемого слоя. Чем выше эти показатели, тем меньшую мощность корнеобитаемого слоя можно формировать на поверхности участков для рекультивации.

Анализ биологических (растительность) ресурсов дает понимание видового разнообразия на естественных, ненарушенных территориях. Данная информация используется при подборе посадочного материала и травосмесей для биологической рекультивации.

После выполнения анализа природных ресурсов (литогенных, климатических и биологических (растительность)) выполняется обоснование направления рекультивации земель с учетом цели, природных условий, пригодности и достаточности ресурсов для выполнения работ по восстановлению техногенных ландшафтов.

4 этап. Выбор технологий рекультивации земель с заданной почвенно-экологической эффективностью

На данном этапе осуществляется расчет разных технологий рекультивации (формирование техноземов) с заданной почвенно-экологической эффективностью рекультивации земель. При достаточном объеме собственных литогенных ресурсов (ПСП, четвертичных отложений I категории) на территории горнодобывающего предприятия выполняется расчет разных вариантов почвенно-экологической эффективности рекультивации земель с учетом мощности корнеобитаемого слоя. При дефиците ПСП и четвертичных отложений I категории целесообразно использовать четвертичные отложения II категории и почвогрунты на основе золошлаковых материалов, окисленных углей. Для предприятия по добыче угля рассчитывается коэффициент содержания

физической глины в сформированном рекультивационном слое на поверхности техногенного ландшафта с учетом содержания физической глины в рекультивационном слое на поверхности техногенного ландшафта, мощности планируемого слоя, оптимально необходимой мощности рекультивационного слоя, в зависимости от количества атмосферных осадков, мощности подстилающей вскрышной породы. Также рассчитывается поправочный коэффициент на определенное количество фракции физической глины в насыпном, рекультивационном слое и поправочный коэффициент на определенное количество фракции физической глины в подстилающей вскрышной породе.

Установлено, что эффективность рекультивации определяется качеством и количеством литогенных ресурсов, используемых для формирования корнеобитаемого слоя искусственных почв – техноземов [43]. В соответствии с профильно-генетической классификацией почв техногенных ландшафтов [151], техноземы могут быть сформированы разными технологическими приемами: отсыпка плодородного слоя почвы на подготовленную поверхность техногенного ландшафта и четвертичных отложений. Конструирование искусственного почвенного профиля можно осуществлять в послойном или смешанном видах. Кроме того, для формирования техноземов при дефиците литогенных ресурсов можно использовать техногенные ресурсы (золошлаковые материалы, окисленные каменные угли и др.).

На основании выполненного анализа существующих природных условий в районе нахождения предприятия по добыче угля и результатов изучения природных ресурсов можно прогнозировать технологии рекультивации с различным уровнем почвенно-экологической эффективности (ПЭР). Для этого используются основные параметры качества литогенных ресурсов и климатические показатели района выполнения рекультивационных работ.

Мощность рекультивационного слоя играет важное значение в последующем восстановлении экологических почвенных функций и

существенно зависит от климатических параметров района выполнения рекультивации. На основании исследований водного режима в черноземах установлено, что основной влагооборот происходит в 2-метровой толще [159] и вся эта почвенная толща может удерживать 150 % годового количества осадков, что обеспечивает благоприятный водный режим для естественной растительности. Поэтому, эти параметры можно выбрать за эталон и формировать корнеобитаемый слой на техногенных отвалах-ландшафтах мощностью около 2 м в лесостепных районах для формирования устойчивых условий увлажнения на рекультивированных участках и принять за 100 % [159].

В связи с тем, что в Кузбассе среднегодовое количество атмосферных осадков разное и зависит от климатических особенностей района, предложено считать, что мощность корнеобитаемого слоя с содержанием 50 % фракции физической глины должна быть обратно пропорциональна среднегодовому количеству осадков [42]. Следует отметить, что за последние 10 лет увеличивается количество атмосферных осадков, так в 2010 г. среднегодовое количество осадков в горно-таежной подзоне Кузбасса в районе филиала АО «УК» «Кузбассразрезуголь» «Калтанский угольный разрез» составляло 665 мм, в 2025 г. – 720 мм. В районе расположения АО «Разрез Распадский» в 2010 г. среднегодовое количество осадков составляло 775 мм, в 2025 г. – 883 мм. Такие региональные изменения климата, в части изменения осадков, отмечают и другие авторы [257]. Поэтому максимальная мощность рекультивационного слоя в горно-таежной подзоне Кузбасса, способного удержать среднегодовое количество осадков, будет составлять менее 1 м.

В соответствии с разработанным подходом прогнозирования экологически эффективных технологий рекультивации [42] необходимо определить поправочный коэффициент $K_{ф.г.}$. Поправочный коэффициент устанавливается по среднему содержанию физической глины на основании исследования гранулометрического состава смеси из основных вскрышных и вмещающих пород на поверхности конкретного рекультивируемого отвала.

Это обусловлено тем, что поверхность отвала после достижения своей конечной высота сформирована из хаотичной смеси пород и по составу в петрографическом отношении она может быть разная, соответственно и содержание фракции физической глины будет отличаться.

В приведенных ниже расчетах во внимание не берется отсыпка плодородного слоя почвы на спланированную поверхность техногенных ландшафтов, моделируются технологии без нанесения плодородного слоя почвы или с почвой, но в смешанном виде с четвертичными отложениями, на примере горно-таежной подзоны Кузбасса. Это факт обусловлен тем, что изучаемая территория по запасам плодородного слоя почвы является остродефицитной, запасы плодородного слоя почвы менее 2,5 тыс. т/га [42].

В связи с тем, что водоудерживающая способность основных вскрышных и вмещающих пород в теле отвала существенно ниже, чем в насыпном корнеобитаемом слое, следует рассчитать среднее значения $K_{ф.г.}$ насыпного корнеобитаемого слоя, сформированного на поверхности техногенного ландшафта и пород в теле отвала.

Расчет коэффициента осуществляется по формуле (8.1), предложенной Андрохановым В.А., Курачевым В.М. [42]:

$$K_{ф.г.}(cp) = (h_1/M \times K_{ф.г.}(м) + h_2/M \times K_{ф.г.}(n.n.)), \quad (8.1)$$

где $K_{ф.г.}(cp.)$ – коэффициент содержания физической глины в сформированном рекультивационном слое на поверхности техногенного ландшафта: h_1 – мощность планируемого рекультивационного слоя; M – оптимальная необходимая мощность рекультивационного слоя для предприятия по добыче угля; $K_{ф.г.}(м)$ – поправочный коэффициент на определенное количество фракции физической глины в насыпном, рекультивационном слое от общей массы породы (при тяжелосуглинистом гранулометрическом составе равен 1); h_2 – мощность подстилающей вскрышной породы, которая равна $M - h_1$; $K_{ф.г.}(n.n.)$ – поправочный коэффициент на определенное количество фракции физической глины в

подстилающей вскрышной породе от общей массы породы (при тяжелосуглинистом гранулометрическом составе равен 1).

Почвенно-экологическая эффективность рекультивации (создание искусственных почв – техноземов) рассчитывается по формуле (8.2):

$$\text{ПЭР} = Б \times K_{\text{ф.г.}}(\text{ср}) \times 100/Б, \quad (8.2)$$

где Б – балл бонитета зональной почвы эталона (в связи с тем, что в районе исследования рассматриваются технологии без нанесения плодородного слоя почвы, балл бонитета выбран распространённой почвообразующей породы в Кузбассе, покровных суглинков и составляет 68 баллов):

$$\text{ПЭР} = 68 \times K_{\text{ф.г.}}(\text{ср}) \times 100/68.$$

Оценка почвенно-экологической эффективности проведенной рекультивации на техногенных ландшафтах по разным технологиям

К параметрам качества литогенных ресурсов, в первую очередь, относятся содержание фракции физической глины и органических веществ в материалах, используемых для формирования корнеобитаемого слоя.

В соответствии с разработанным подходом эффективность рекультивации земель определяется степенью соответствия основных параметров рекультивированных почв показателям естественных почв прилегающей территории [42]. Для этого используется сравнение балла бонитета естественной почвы и коэффициента специфичности показателя сформированной искусственной почвы, вводятся поправочные коэффициенты специфичности $K_{\text{ф.г.}}$ и $K_{\text{гум.}}$ по физической глине и органическому веществу, показывающие насколько эти параметры сформированных почв отличаются от естественных. Поправочные коэффициенты определяются по среднему содержанию физической глины и органического вещества в созданном корнеобитаемом слое. Также вводятся поправочные коэффициенты $K_{\text{пл}}$ плотности сложения и $K_{\text{м}}$ мощности отсыпки насыпного корнеобитаемого слоя.

Почвенно-экологическая эффективность рекультивационных работ рассчитывается по формуле (8.3) на основе [42]:

$$\text{ПЭР, \%} = B_{\text{п}} \cdot K_{\text{с}} \quad (8.3)$$

где $B_{\text{п}}$ – балл бонитета естественной почвы;

$K_{\text{с}}$ – коэффициент специфичности показателя рекультивированной почвы.

Балл бонитета естественной почвы принимается 100 %.

При рекультивации проводят планировку поверхности, поэтому коэффициент по рельефу можно не учитывать и вводить его в формулу только на склоновых поверхностях. Следовательно, в формулу ввели основные показатели по содержанию физической глины, плотности сложения, органического вещества и мощность отсыпки корнеобитаемого слоя. Таким образом, по формуле (8.4) рассчитывается средний коэффициент специфичности рекультивированной почвы:

$$K_{\text{с}}(\text{ср.}) = \frac{K_{\text{ф.г.}} + K_{\text{п.с.}} + K_{\text{гум.}} + K_{\text{м.}}}{4} \% \quad (8.4)$$

где $K_{\text{ф.г.}}$ – содержание физ. глины;

$K_{\text{п.с.}}$ – плотность сложения рекультивационного слоя;

$K_{\text{гум.}}$ – содержание гумуса;

$K_{\text{м.}}$ – мощность насыпного, рекультивационного слоя.

Поправочный коэффициент физической глины рассчитывается по формуле (8.5):

$$K_{\text{ф.г.}} = \frac{K_{\text{ф.г.нас.рекульт.слоя}}}{K_{\text{ф.г.эталон}}} \quad (8.5)$$

где $K_{\text{ф.г.нас.рекульт.слоя}}$ – содержание физической глины в насыпном, рекультивационном слое;

$K_{ф.г.эталон}$ – содержание физической глины в естественной почве, принятой за эталон.

При высокой каменистости насыпного, рекультивационного слоя необходимо выполнить пересчет содержания фракции физической глины на весь объем субстрата.

Поправочный коэффициент плотности сложения рассчитывается по формуле (8.6):

$$K_{п.с.} = \frac{K_{п.с.эталон}}{K_{п.с.насып.рекульт.слоя}} \quad (8.6)$$

где $K_{п.с.эталон}$ – плотность сложения естественной почвы, принятая за эталон;

$K_{п.с.насып.рекульт.слоя}$ – плотность сложения почвы в насыпном, рекультивационном слое.

Поправочный коэффициент содержания гумуса рассчитывается по формуле (8.7):

$$K_{ф.г.} = \frac{K_{гум.насып.рекульт.слоя}}{K_{гум.эталон}} \quad (8.7)$$

где $K_{гум.насып.рекульт.слоя}$ – содержание гумуса в насыпном, рекультивационном слое;

$K_{гум.эталон}$ – содержание гумуса в естественной почве, принятой за эталон.

Поправочный коэффициент K_M мощности отсыпки насыпного, корнеобитаемого слоя рассчитывается от среднегодового количества атмосферных осадков в районе расположения горнодобывающего предприятия. Мощность насыпного, корнеобитаемого слоя с содержанием 50 % фракции физической глины должна быть обратно пропорциональна среднегодовому количеству осадков. Так как за эталон выбрана лесостепная подзона Кузбасса со среднегодовым количеством осадков от 365 мм (промышленная группа Беловская), рекомендованная мощность корнеобитаемого слоя на техногенных отвалах составляет около 2 м, поправочный коэффициент K_M равен 1. В горно-таежной подзоне Кузбасса со

среднегодовым количеством атмосферных осадков за последние 10 лет от 720 – 883 мм (промышленная группа Междуреченская и Осинниковская) максимально экологически эффективная мощность будет составлять от 83 до 100 см, K_m равен 1 (таблица 8.1).

Исходя из вышесказанного, в каждом районе присутствия горнодобывающего предприятия мощность насыпного, рекультивационного слоя будет индивидуальная, в зависимости от среднегодового количества атмосферных осадков.

Таблица 8.1 – Экологически эффективная мощность насыпного, рекультивационного слоя (см), сформированная на поверхности техногенных ландшафтов по промышленным группам Кемеровской области – Кузбасса

Промышленная группа	Среднегодовое количество осадков (за 10 лет), мм	Максимальная экологически эффективная мощность корнеобитаемого слоя, см
Междуреченская (метеостанция Междуреченск (М-II Чульжан))	883	83
Осинниковская (метеостанция Осинники (М-II Кузедеево))	720	100
Беловская (метеостанция Ленинск-Кузнецкий (по М-II Красное))	365	200

Почвенно-экологическое эффективность планируемых рекультивационных работ рассчитывается по формуле (8.3).

В настоящее время разработано достаточное многообразие технологий рекультивации. При этом их можно условно разделить на три варианта по различию в материалах формирования поверхностного рекультивационного слоя.

В первом варианте технологий рекультивации при использовании наилучших литогенных ресурсов (ПСП) и четвертичных отложений I категории (покровные суглинки) можно получить наибольший уровень почвенно-экологической эффективности рекультивации (от 50 до 80 %). В этой технологии эффективность рекультивации определяется мощностью отсыпки

корнеобитаемого слоя, а также содержанием органических веществ в ПСП. Эта технология наиболее дорогостоящая и должна применяться на участках, которые планируются активно использовать в сельскохозяйственном или рекреационном направлении.

Во втором варианте на поверхности формируется корнеобитаемый слой из суглинистого материала (четвертичных отложений I категории). Эффективность такой технологии также определяется мощностью отсыпки корнеобитаемого слоя. В разных районах выполнения работ мощность слоя может сильно варьировать и зависит от количества атмосферных осадков. Эффективность рекультивации может изменяться в пределах 40 – 80 %. Эта технология наиболее применима для лесохозяйственного направления рекультивации, однако может использоваться и в рекреационном направлении при создании лесных и травянистых фитоценозов.

В третьем варианте технологии рекультивации в условиях дефицита ПСП и четвертичных отложений I категории (покровные суглинки) для формирования насыпного, корнеобитаемого слоя целесообразно использовать ресурсы, относящиеся ко второй категории пригодности (четвертичные отложения, из смеси суглинков с окатанной галькой, щебнем коренных пород), а также техногенные ресурсы (почвогрунты из золошлаковых материалов, окисленных каменных углей). Эффективность таких рекультивационных мероприятий не будет превышать 40 %.

Таким образом, представленные варианты технологий рекультивации позволяют эффективно решать проблему восполнения недостатка почвенных ресурсов, моделировать восстановление нарушенных земель путем подбора наиболее доступных, качественных литогенных и техногенных ресурсов для экологически эффективной рекультивации земель.

Представленные варианты технологий создания искусственных почв (техноземов) позволяют еще на этапе предпроектного анализа планировать уровень почвенно-экологической эффективности рекультивации и выполнять мероприятия с использованием ресурсов, которые наиболее оптимально

можно использовать в данных условиях для обеспечения достижения поставленной цели в экономике замкнутого цикла горнодобывающего предприятия.

8.3 Экономические затраты при использовании собственных литогенных ресурсов предприятия для рекультивации земель

При оценке стоимости затрат на рекультивацию были рассмотрены несколько вариантов формирования техноземов из смеси ПСП и ППП (четвертичные отложения I категории), мощность корнеобитаемого слоя – 0,3 и 0,5 м и из четвертичных отложений II категории мощностью 0,5 и 0,6 м на поверхности отвала (плато). Соответственно, при одинаковой площади отвалов данные варианты будут отличаться объемом работ по отсыпке (тыс. м³) и стоимостью подрядных работ по отсыпке (грузоподъемность самосвала и тарифы за транспортировку и экскаваторные работы на 1 м³ постоянны).

Суммарная стоимость подрядных работ соответствующей мощности распределяется между плато и откосами отвала пропорционально их доле в общей площади: плато – 63,1 %, откосы – 36,9 %.

Биологический этап рекультивации также представлен в нескольких вариантах.

Вариант 1: плато отвала отсыпается слоем смеси ПСП и ППП (четвертичных отложений I категории, мощность 0,3 м, посадочный материал включает 2000 саженцев на 1 Га, в том числе 70 % – сеянцы закрытой корневой системой (ЗКС, 1-2-ух летние), 30 % – саженцы (ЗКС, 2-ух летние)).

Вариант 2: плато отвала отсыпается слоем из четвертичных отложений II категории, мощность 0,5 м, посадочный материал включает 2000 саженцев на 1 Га, в том числе 100 % – сеянцы (ЗКС, 1-2-ух летние), а также семена трав (клевер белый – 30 кг/га, мятлик луговой – 20 кг/га).

Вариант 3: плато отвала отсыпается слоем смеси ПСП и ППП (четвертичных отложений I категории, мощность 0,5 м, посадочный материал

включает 2000 саженцев на 1 Га, в том числе 70 % – сеянцы закрытой корневой системой (ЗКС, 1-2-ух летние), 30 % – саженцы (ЗКС, 2-ух летние).

Вариант 4: плато отвала отсыпается слоем из четвертичных отложений II категории, мощность 0,6 м, посадочный материал включает 2000 саженцев на 1 Га, в том числе 100 % – сеянцы (ЗКС, 1-2-ух летние), а также семена трав (клевер белый – 30 кг/га, мятлик луговой – 20 кг/га).

По всем вариантам рекультивация откосов предусматривает формирование корнеобитаемого слоя из четвертичных отложений. Также при рекультивации откосов предусмотрен частичный (50 %) гидропосев.

Рекультивация плато и откосов отвала предусматривает высадку растений (работа, гидрогель, удобрения) и мониторинг насаждений (первые 2 года после высадки растений: оценка жизнеспособности растений; обработка от вредителей). Сравнение затрат по вариантам 1 – 4 отражено на рисунке 8.10.

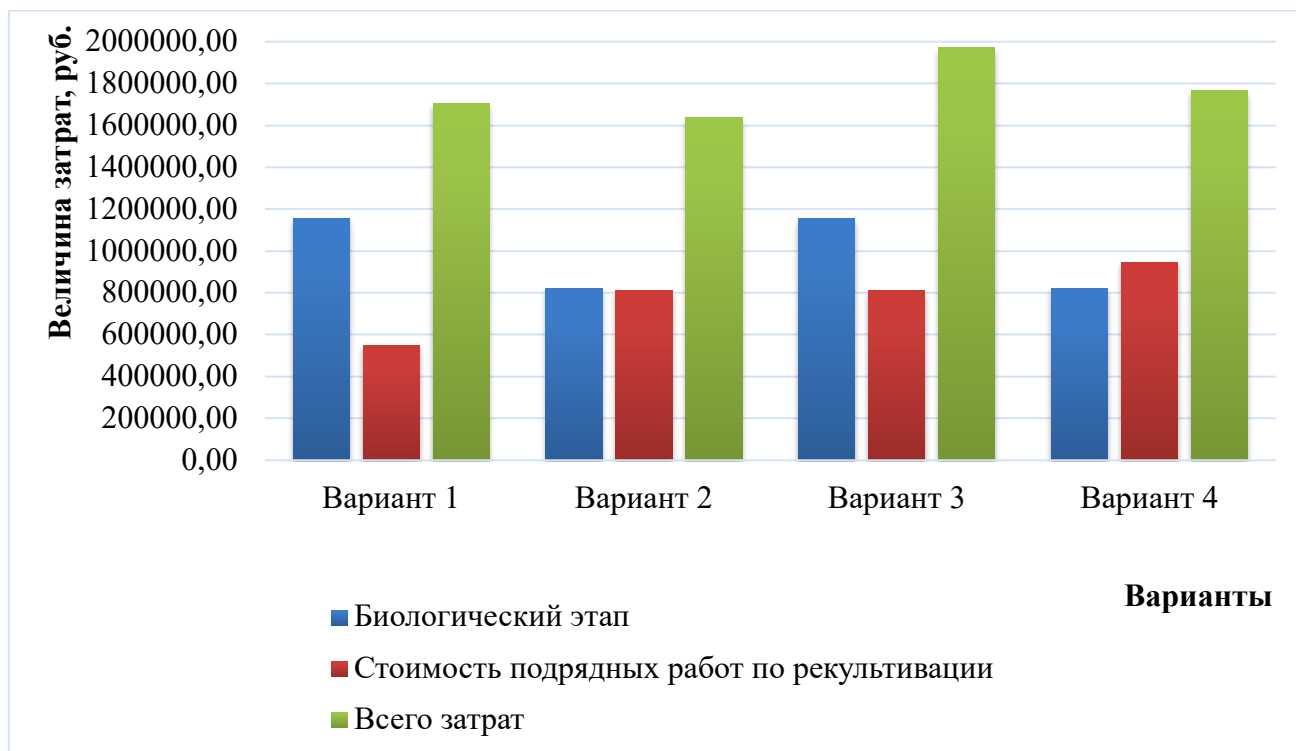


Рисунок 8.10 – Сравнение затрат по вариантам рекультивации на 1 Га

Как видно из рисунка 8.10, меньшие затраты достигаются при втором варианте реализации рекультивации, что обусловлено в основном за счет более низкой стоимости посадочного материала. При этом стоимость подрядных работ в четвертом варианте характеризуется более высокой

стоимостью подрядных работ, что обусловлено увеличением мощности формирования корнеобитаемого слоя на поверхности плато. Тем не менее, четвертый вариант с сохранением и рациональным использованием смеси из ПСП и ППП (четвертичные отложения I категории), мощностью корнеобитаемого слоя 0,5 м является наиболее экологически эффективной технологией для рекультивации земель, которая способствует сохранению плодородного слоя почвы с уникальным «банком» семян, зачатков растений, почвенной биоты и обеспечивает благоприятный водный режим для ускоренного восстановления растительного и почвенного покрова

5 этап. Мониторинг (оценка почвенно-экологического состояния участков рекультивации, ПЭС, %)

После выполнения рекультивационных работ необходим этап мониторинга на рекультивированных участках. Это связано с тем, что при не правильном нанесении литогенных ресурсов на поверхность отвалов или в результате развития деградационных процессов эффективность рекультивации может снижаться. При этом состояние рекультивированных земель, возможно, оценить по тем же параметрам, что и ПЭР с учетом биологической продуктивности и проективного покрытия растительностью рекультивированного участка. При естественном зарастании и восстановлении нарушенных земель естественным образом, без создания рекультивационного слоя из плодородного слоя почвы и четвертичных отложений, проводится оценка уровня развития растительного покрова и процессов почвообразования с определением стадии развития растительной сукцессии и структуры почвенного покрова молодых почв.

Мониторинг участков рекультивации должен выполняться через 3 – 5 лет. В этот период можно объективно оценить состояние почв и растительности на участках рекультивации. Оцениваются основные показатели плодородия корнеобитаемого слоя, его морфологические особенности и состояние сформированного растительного покрова.

Почвенно-экологическое состояние оценивается следующими способами.

Первый способ, когда на участках с естественным зарастанием оцениваются начальные стадии развития растительности и процент проективного покрытия.

Почвенно-экологическое состояние почвенного покрова техногенных почв проводится на основе детального почвенного картографирования в соответствии с классификацией почв техногенных ландшафтов и определяется по соотношению тех или иных типов почв в структуре почвенного покрова. Описание почвенного покрова и расчет разных типов почв проводится на площадке 10×10 м в трех (четырёх) кратной повторности с учетом разных геоморфологических условий (плато и откосы техногенных ландшафтов) и выражается в % всей площади поверхности исследуемого участка [42, 151, 152].

Если за это время (3 – 5 лет) на участке сформировался растительный покров с проективным покрытием 60 – 70 %, то можно считать, что условия для развития растительности благоприятные и в дальнейшем будет происходить восстановление естественной растительности и почвенных свойств.

При оценке рекультивированных участков возрастом 15 – 20 лет и более можно считать, что ПЭС восстанавливающихся участков хорошее и выполнение дополнительных рекультивационных мероприятий не требуется, если при благоприятных условиях происходит восстановление нарушенных земель, при лесном типе растительности преобладают эмбриоземы органо-аккумулятивные, а при формировании травянистого фитоценоза в почвенном покрове – эмбриоземы дерновые и гумусово-аккумулятивные.

При формировании техноземов с использованием разных технологических приемов также проводится оценка уровня развития растительного покрова и процессов почвообразования.

При оценке рекультивированных участков с техноземами гумусогенными из ПСП и четвертичных отложений в смешанном или послойном виде возрастом 3 – 5 лет и более установлено, что если при благоприятных условиях за этот период времени восстановления нарушенных земель преобладают эмбриоземы дерновые, то ПЭС восстанавливаемых участков хорошее и выполнение дополнительных рекультивационных мероприятий не требуется.

При оценке рекультивированных участков с техноземами литогенными из четвертичных отложений или техноземами модифицированными на основе почвоулучшителей возрастом 3 – 5 лет и более установлено, что при благоприятных условиях за этот период времени восстановления нарушенных земель, преобладают:

- при лесохозяйственном направлении эмбриоземы органно-аккумулятивные, то ПЭС восстанавливаемых участков можно считать хорошим и созданные экологические условия местообитания на техногенных ландшафтах будут способствовать восстановлению растительного и почвенного покрова;

- при сельскохозяйственном направлении эмбриоземы дерновые, то ПЭС восстанавливаемых участков также считается хорошим и экологические условия местообитания будут способствовать трансформации почвенного покрова в более зрелые типы почв и развитию растительного покрова.

8.4 Рациональное использование техногенных ресурсов (отходов углеобогащения) для размещения в выработанном пространстве карьеров с последующей рекультивацией нарушенных земель

Проведенные исследования показали возможность экологически безопасного использования отходов углеобогащения как техногенного ресурса для размещения в выработанном пространстве карьеров. Установлено,

что отходы могут быть использованы для выравнивания техногенного рельефа и создания устойчивого основания с последующей рекультивацией земель посредством формирования на спланированной поверхности искусственных почв (техноземов) из литогенных ресурсов (плодородного слоя почвы и потенциально плодородной породы) в смешанном виде или послойном и посевом травосмесей.

Для грамотного управления собственными ресурсами в экономике замкнутого цикла производства и принятия решения по использованию отходов углеобогащения в качестве техногенного ресурса для экологически безопасного размещения в выработанном пространстве с последующей рекультивацией земель рекомендуется следующий алгоритм действий (схема) (рисунок 8.11).

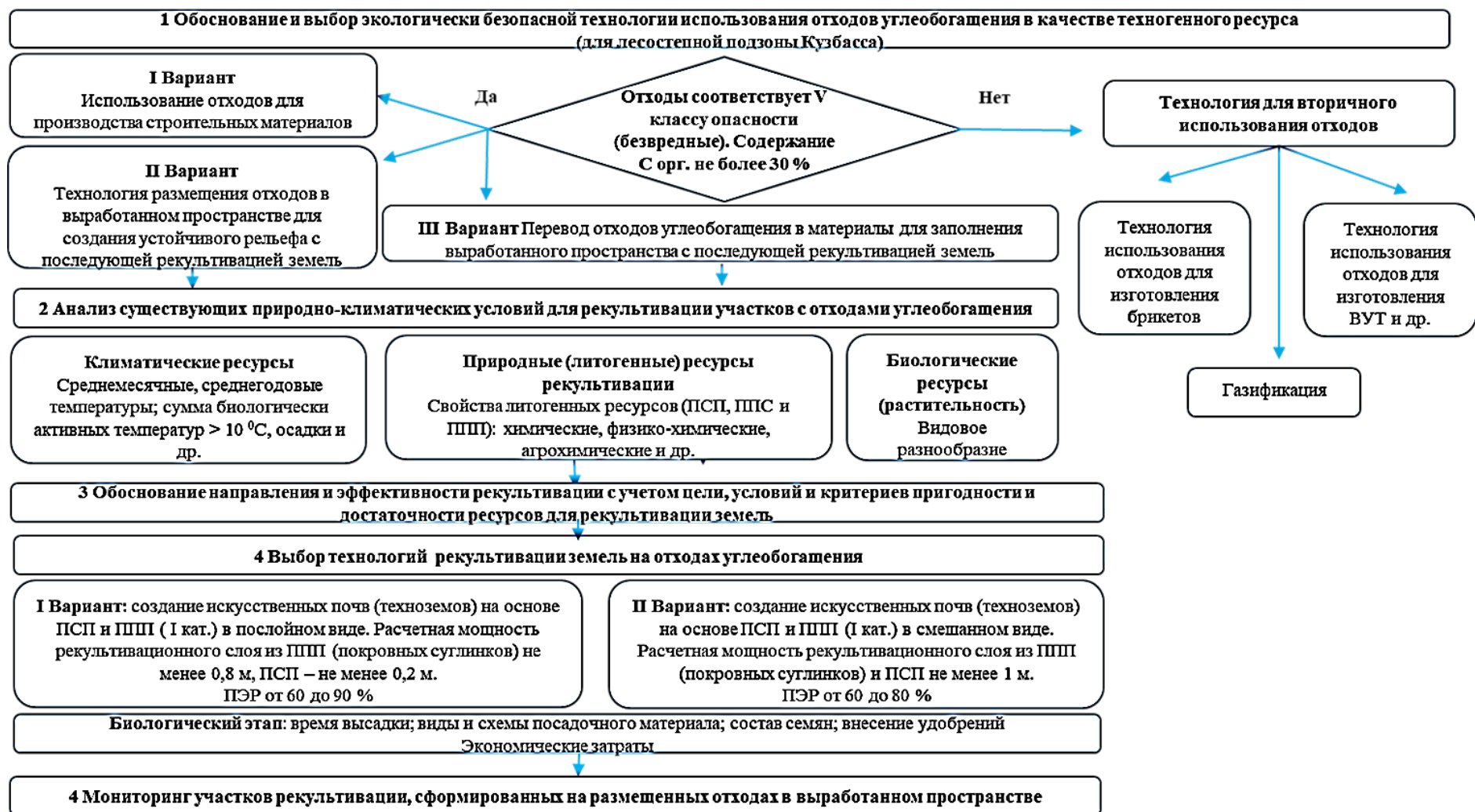


Рисунок 8.11 – Геоэкологическая схема использования отходов углеобогащения в качестве техногенного ресурса для экологически безопасного размещения в выработанном пространстве с последующей рекультивацией земель (на примере лесостепной подзоны Кузбасса)

1 этап. Обоснование и выбор экологически безопасной технологии использования отходов углеобогащения в качестве техногенного ресурса

Для обоснования выбора экологически безопасной технологии использования отходов углеобогащения в качестве техногенного ресурса необходимо провести исследования свежих отходов углеобогащения в соответствии с требованиями Федерального закона от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ (ред. от 31.07.2025) «Об отходах производства и потребления» и получить положительное заключение (протокол) с подтверждением отнесения отходов к V классу опасности.

Кроме того, результаты многолетних исследований молодых почв, сформированных на отходах углеобогащения, показали, что при смешивании отходов углеобогащения (отходы флотационного обогащения «кек» и породы после углеобогащения) в соотношении 1:3 и размещении их на территории выработанных карьеров существенных негативных последствий на сформированные молодые почвы и растительный покров не выявлено. Однако в техноземах и эмбриоземах в горизонте D, сложенном отходами углеобогащения, содержание органического углерода на момент исследования варьировало от 5,09 до 21,58 %. При этом содержании наблюдается увеличение теплообеспеченности территории, в зимний период наблюдается тенденция к увеличению температуры с глубиной.

Таким образом, при отнесении отходов к V классу опасности и подтверждении их безвредности и неопасности для природной среды, а также при содержании общего углерода не более 30 – 40 % можно размещать отходы углеобогащения в выработанном пространстве для создания устойчивого рельефа с последующей рекультивацией следующим образом.

Предлагается технология размещения отходов углеобогащения: в первый год выполнения мероприятий по отсыпке отходов углеобогащения в выработанное пространство следует предусмотреть укладку отходов слоями со значительным уплотнением горной техникой (бульдозером) каждого слоя. По завершении выравнивания поверхности отвала верхний слой из отходов

углеобогащения не следует уплотнять горной техникой, рекомендуется выполнить только грубую планировку поверхности с целью создания благоприятных условий для проникновения корней древесных растений. Отходы углеобогащения обладают запасом микроэлементов, а чрезмерная уплотненность субстрата на технологическом этапе препятствует развитию биохимического процесса и не позволяет использовать микроэлементный потенциал отходов для питания растений.

На спланированную поверхность отходов углеобогащения следует отсыпать слой мощностью 10 – 20 см из песчано-гравийной смеси, размер фракции от 2 до 6 мм (в случае агрессивной реакции почвенного раствора, при pH более 9 – 10) (рисунок 8.12). При нейтральной реакции почвенного раствора отходов углеобогащения из песчано-гравийного материала смесь на поверхность наносить не целесообразно (рисунок 8.13). Эта прослойка служит барьером, препятствующим поступлению солей из материала отходов углеобогащения в корнеобитаемый слой, значительно снижая негативное воздействие отходов на корневую систему растений.

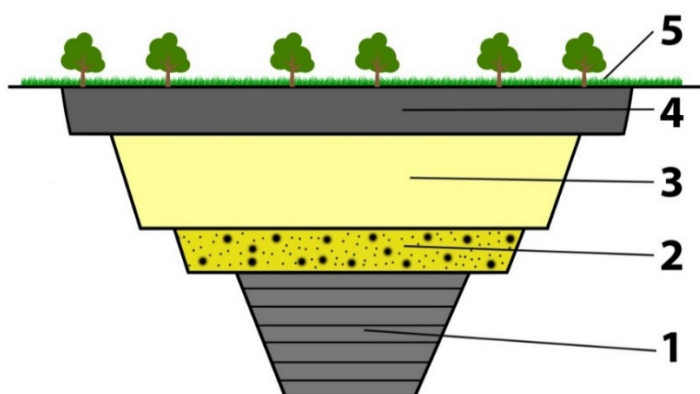


Рисунок 8.12 – Способ рекультивации с использованием отходов углеобогащения (при агрессивной реакции почвенного раствора, pH более 9 – 10): 1 – отходы углеобогащения; 2 – слой из песчано-гравийной смеси, 3 – потенциально плодородная порода (суглинистый материал); 4 – плодородный слой почвы; 5 – травосмеси многолетних трав и древесно-кустарниковая растительность

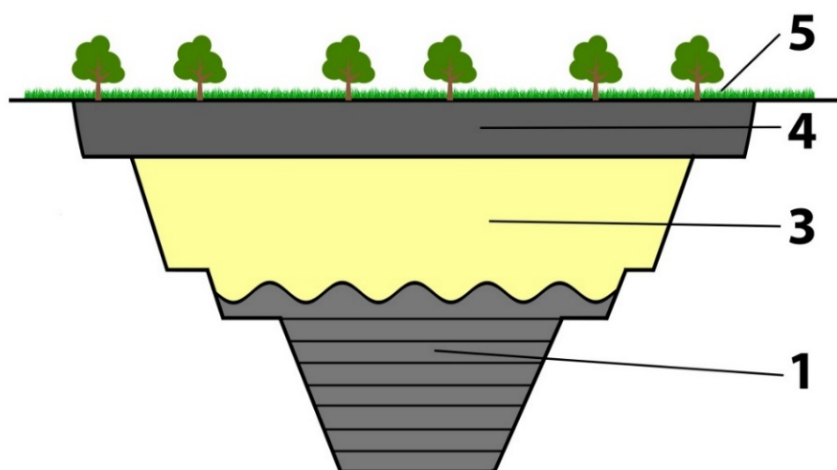


Рисунок 8.13 – Способ рекультивации с использованием отходов углеобогащения (при реакции почвенного раствора 6 – 7): 1 – отходы углеобогащения; 2 – потенциально плодородная порода (суглинистый материал); 3 – плодородный слой почвы; 4 – травосмеси многолетних трав и древесно-кустарниковая растительность

На второй год после стабилизации и усадки отходов углеобогащения (с целью стабилизации противодиффузионного слоя), после создания устойчивого рельефа и проведения грубой планировки поверхности можно выполнять рекультивационные работы.

Отходы углеобогащения с содержанием общего углерода более 30 % в целях рационального использования природных ресурсов и обеспечения экологической безопасности рекомендуется перерабатывать в водоугольное топливо (ВУТ), в том числе кавитационное (КаВУТ), либо использовать для производства угольных брикетов.

2 этап. Анализ существующих условий для рекультивации участков с отходами углеобогащения

На втором этапе схемы, после выполнения технических работ по размещению отходов углеобогащения в выработанном пространстве и создании безопасного и устойчивого ландшафта с последующей рекультивацией необходимо определиться с существующими природными условиями и ресурсами на исследуемой территории.

Климатические природные ресурсы

Основными климатическими параметрами, влияющими на выполнение рекультивационных работ, являются среднемесячные, среднегодовые температуры теплого и холодного периодов года; сумма биологически активных температур $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$, осадки, мощность снежного покрова и др. Это связано с тем, что данные параметры влияют на обеспечение влагой и теплом рекультивационные участки, что определяет условия развития биоценозов и перспективы восстановления почв и экосистем на нарушенных ландшафтах. Также данные показатели влияют на выбор направления рекультивации земель и мощность формируемого рекультивационного слоя на поверхности отвалов, которые подлежат рекультивации.

Литогенные ресурсы для рекультивации земель

Наиболее ценными для рекультивации литогенными ресурсами являются ПСП и четвертичные отложения I категории, к ним относятся, в основном, четвертичные отложения (покровные суглинки). Для оценки пригодности определяются основные свойства литогенных ресурсов: химические (валовые и подвижные формы токсичных элементов; элементный состав); физико-химические (плотность пород, плотность сложения почв, гранулометрический состав (содержание фракции физической глины и мелкозема, ЕКО, pH, засоленность по сухому остатку)); агрохимические (органический углерод, азот общий, подвижные формы фосфора и калия). На основе полученных результатов определяется категория пригодности пород для рекультивации земель. Также на этом этапе определяются имеющиеся объёмы пригодных пород и рассчитывается необходимый объем с учетом оптимальной мощности корнеобитаемого слоя для создания искусственных почв – техноземов.

Биологические природные ресурсы (растительность)

Биологические ресурсы (растительность) обеспечивают восстановление растительного покрова на нарушенных землях и способствуют развитию почвенных свойств в корнеобитаемом слое и устойчивости

рекультивированных почв к различным нарушениям. Богатый видовой состав естественных фитоценозов и близость ненарушенных территорий к отвалам (от 500 м до 1 км) способствуют при благоприятных почвенно-экологических условиях активному развитию фитоценозов на участках после рекультивации земель. Видовое разнообразие оценивается на основе геоботанического описания и используется при подборе посадочного материала, травосмесей для выполнения биологического этапа рекультивации земель.

3 этап. Обоснование направления и эффективности рекультивации с учетом цели, условий, критериев пригодности и достаточности ресурсов для рекультивации земель

Восстановление и устойчивое функционирование рекультивированных участков определяется развитием растительного и почвенного покрова на техногенно нарушенных территориях и зависит от условий, созданных на техническом этапе рекультивации земель. Направление восстановления нарушенных земель выбирается согласно цели рекультивации и возможности рационального использования природных ресурсов рекультивации. Уровень применения ресурсов определяет эффективность рекультивационных работ и возможность повторного использования восстановленных участков для хозяйственных целей региона.

На начальном этапе эффективность рекультивации, главным образом, зависит от качества пород, слагающих рекультивационный слой. Основными критериями пригодности литогенных ресурсов рекультивации для восстановления нарушенных территорий являются требования ГОСТ 17.5.1.03 – 86 «Охрана природы. Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель». На основании результатов исследований установлено, что основными критериями пригодности пород также являются содержание фракции физической глины и мелкозема в породе, плотность породы, содержание органического углерода (гумуса), pH. Эти показатели определяют потенциал пород к развитию растительного покрова и процессов почвообразования в рекультивированных почвах. Наличие

достаточного количества благоприятных пород для рекультивации и их рациональное использование обеспечивает высокую эффективность выполнения рекультивационных работ по разным направлениям.

Эффективность рекультивации также зависит от сформированной мощности рекультивационного слоя. Для определения его оптимальной мощности на поверхности отвалов используются параметры среднегодового количества атмосферных осадков и водоудерживающей способности материалов насыпного слоя. Чем выше эти показатели, тем меньшую мощность рекультивационного слоя можно формировать на поверхности участка.

Анализ биологических (растительность) ресурсов дает понимание видового разнообразия на естественных, ненарушенных территориях. Данная информация используется при подборе посадочного материала и травосмесей для биологической рекультивации.

В качестве критерия достаточности запасов литогенных ресурсов для создания рекультивационного слоя выступает необходимый объём ресурсов, рассчитанный на площадь нарушенной территории, подлежащей рекультивации.

4 этап. Выбор технологий рекультивации земель на отходах углеобогащения (на примере лесостепной подзоны Кузбасса)

Результаты исследований показали, что эффективность рекультивации определяется качеством и количеством литогенных ресурсов, используемых для формирования рекультивационного слоя или искусственных почв – техноземов [43]. В соответствии с профилльно-генетической классификацией почв техногенных ландшафтов, разработанной в ИПА СО РАН, техноземы могут быть сформированы разными технологическими приемами: отсыпка плодородного слоя почвы на подготовленную поверхность техногенного ландшафта и четвертичных отложений. Конструирование искусственного почвенного профиля можно осуществлять в послойном или смешанном видах.

Основными ресурсами для создания техноземов являются плодородный слой почвы и четвертичные отложения (покровные суглинки).

На основании выполненного анализа существующих природных условий в районе нахождения предприятия по добыче угля и его переработки можно прогнозировать технологии рекультивации с различным уровнем почвенно-экологической эффективности (ПЭР). Для этого используются основные параметры качества литогенных ресурсов и климатические показатели района выполнения рекультивационных работ.

Для создания искусственных почв (техноземов) на поверхности отходов углеобогащения следует произвести отсыпку верхнего слоя отвала из потенциально плодородной породы (четвертичные отложения I категории, покровные суглинки) и плодородного слоя почвы (при наличии) в послойном виде. Мощность отсыпаемых литогенных ресурсов зависит от особенностей природно-климатической зоны, а именно от количества осадков и водоудерживающей способности материалов, используемых для создания корнеобитаемого слоя. Следует отметить, что объекты исследования находятся в лесостепной зоне Кузбасса, где зональные почвы представлены черноземами выщелоченными и другими, в основном, автоморфными почвами. Результаты водно-физических исследований показали, что запасы влаги в естественных почвах на глубине 40 см составляют 85 мм, на глубине 1 м – 150 мм, содержание фракции физической глины в метровой толщии почвенного профиля составляет не менее 50 %. Отмечается, что основной влагооборот в этих почвах происходит в двухметровой толще почвенного профиля, что позволяет удержать среднегодовое количество осадков, при этом следует отметить следующее: в районе исследования годовое количество осадков составляет 364 – 365 мм, часто наблюдается дефицит увлажнения.

Запасы влаги в 40 см слое в техноземе гумусогенном недифференцированном на отходах углеобогащения (участок 4/Т 4) в период наблюдения составили 59,6 мм и в техноземе гумусогенном дифференцированном (участок 5/Т 5) – 68,5 мм. Для получения высокой

почвенно-экологической эффективности рекультивационных работ, мощность отсыпанного слоя суглинистого состава (с фракцией физической глины не менее 50 %) в данной природно-климатической зоне должна составлять не менее двух метров. Наблюдения за молодыми почвами и растительным покровом показали: сформированные техноземы гумусогенные постепенно эволюционируют в сторону зональных почв (верхние горизонты) и растительный покров находится в хорошем состоянии, причем максимальная мощность верхнего слоя из потенциально плодородных пород составляет всего 35 см, а слой из плодородного слоя почвы – не более 10 см (участок 5/Т 5, технозем гумусогенный дифференцированный). Однако при такой мощности может произрастать ограниченный набор травянистых видов, устойчивый к засушливым почвенным условиям, поэтому для обеспечения водоудерживающей способности молодых почв (техноземов) и стабильного функционирования фитоценозов в данной природно-климатической зоне минимальная мощность отсыпанного слоя из суглинистого материала должна составлять не менее 0,8 м и не менее 0,2 м из плодородного слоя почвы (при наличии).

Почвенно-экологическая эффективность рекультивации (создание искусственных почв – техноземов) рассчитывается по формуле (8.2).

Рекомендуется предусмотреть проведение биологического этапа рекультивации. Выбор травосмеси следует осуществлять с учетом зональной растительности на основе геоботанического описания. В ходе исследования показано, что при посеве многолетних трав, таких как кострец безостый (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub) и люцерна посевная (*Medicago sativa* L.), посадка древесно-кустарниковой растительности облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на техноземы гумусогенные – создаются благоприятные условия для более интенсивного формирования первичного фитоценоза. Однако, следует отметить что облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) не являются аборигенными видами для

естественных территорий, поэтому для сохранения флоры природной, ненарушенной территории лучше подбирать видовое разнообразие из аборигенных видов растений.

После проведения биологического этапа (посев многолетних трав) рекомендуются наблюдения за состоянием растительного покрова и применение удобрений для его более интенсивного развития. Также обязательно следует предусмотреть уход за растениями.

5 Мониторинг размещенных отходов в выработанном пространстве

Для безопасного функционирования рекультивированных территорий с использованием отходов углеобогащения рекомендуется предусмотреть строительство наблюдательных скважин с целью мониторинга состояния подземных вод, а также наблюдения с использованием датчиков контроля за температурным режимом почвенного покрова и воздуха.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании теоретических, экспериментальных лабораторных и полевых исследований, установленных закономерностей комплексного влияния природно-климатических, литогенных факторов и геоморфологии (рельефа) горнопромышленных ландшафтов на развитие растительного и почвенного покрова решена научная проблема разработки экологически эффективных технологий рекультивации земель, нарушенных деятельностью угледобывающих предприятий. Работа имеет важное хозяйственное значение для обеспечения устойчивого развития горнодобывающих регионов.

Основные результаты, полученные лично автором:

1. На основании результатов комплексных почвенно-экологических исследований основных вскрышных и вмещающих пород в горно-таежной подзоне Кузбасса установлено, что основными критериями применимости пород и техногенных субстратов для биологической рекультивации земель (создания искусственных почв – техноземов) являются показатели минералогических (содержание глинистых минералов), агрохимических (содержание основных элементов питания в доступной для растений форме), физико-механических свойств (содержание фракций физической глины и мелкозема, благоприятные показатели pH и плотности пород), обеспечивающие стабильное развитие растительного покрова и процессов почвообразования и обладающие потенциалом к закреплению органического вещества (гумуса) в почвенном профиле.

2. В соответствии с критериями пригодности научно обосновано ранжирование основных вскрышных и вмещающих пород по категории. Показано, что наилучшими литогенными ресурсами для биологической рекультивации земель и создания искусственных почв (техноземов) на поверхности техногенных ландшафтов в горно-таежной подзоне Кузбасса являются плодородный слой почвы и ППП (четвертичные отложения I категории – покровные суглинки), которые имеют высокую дисперсность,

значительную поглотительную способность, что оказывает существенное влияние на водообеспечение фитоценозов. При дефиците четвертичных отложений I категории для создания искусственных почв (техноземов) целесообразно использование ППП (четвертичных отложений II категории с наличием каменистости до 50 %).

3. На основании результатов исследований научно подтверждена почвенно-экологическая эффективность технологии рекультивации земель, осуществляемая в процессе ведения горных работ (селективное отвалообразование). Показано, что за 48 и 13 лет функционирования искусственных почв (техноземов) из литогенных ресурсов (четвертичные отложения I категории), сформированных на относительно ровной площадке с мелкобугристым слабонаклонным рельефом, сформировались экосистемы, приближенные по своим параметрам к естественным лесным фитоценозам и зональным почвам. Оценка почвенно-экологического состояния участков после рекультивации земель характеризуется хорошим и очень хорошим состоянием (ПЭС от 79 до 91 %).

4. На основе режимных наблюдений за водно-физическими параметрами техноземов научно обоснована мощность корнеобитаемого слоя на поверхности техногенных ландшафтов. Установлено, что для повышения водоудерживающей способности техноземов для стабильного функционирования фитоценозов в горно-таежной подзоне Кузбасса минимальная мощность корнеобитаемого слоя на поверхности техногенных ландшафтов из ПСП и четвертичных отложений I категории в смешанном виде должна составлять не менее 0,4 м, мощность корнеобитаемого слоя техноземов из четвертичных отложений II категории – не менее 0,6 м. Минимальная мощность отсыпанного корнеобитаемого слоя на участках рекультивации, сформированного на отходах углеобогащения в лесостепной подзоне Кузбасса из ППП (покровных суглинков), должна составлять не менее 0,8 и 0,2 м из ПСП (при наличии). Такой подход обеспечивает стабильный уровень запасов продуктивной влаги для растений.

5. Научно обоснована экологически эффективная технология рекультивации земель в условиях недостатка плодородного слоя почвы в горно-таежной подзоне Кузбасса (состав и строение корнеобитаемого слоя техноземов из ПСП и четвертичных отложений I категории, оптимальная мощность, подбор видового состава растений и наиболее предпочтительных схем посадки лесных культур; состав травосмесей; применение органоминеральных удобрений). Установлено, что уже в первые годы функционирования рекультивированных участков по рассматриваемой технологии наблюдается активное восстановление фитоценозов, участок характеризуется наибольшим видовым разнообразием (52 вида), минимальной долей сорных видов растений (15 %), наибольшей продуктивностью (59,2 ц/га). Почвенно-экологическое состояние оценивается как благоприятное и составляет 50 % по отношению к естественным почвам. Показано, что при дефиците ПСП и четвертичных отложений I категории возможно применять менее благоприятные породы (четвертичные отложения II категории). При этом почвенно-экологическое состояние участков характеризуется как удовлетворительное (ПЭС от 22 до 37 %).

6. Показано, что технология создания искусственных почв (техноземов модифицированных) на поверхности техногенных ландшафтов из техногенных ресурсов и их внесение в составе 10 % в четвертичные отложения способствует увеличению содержания органического углерода в техногенных почвах и повышению емкости катионного обмена, а также активному развитию растительного покрова. Это препятствует вымыванию элементов питания из корнеобитаемого слоя.

7. Получены закономерности в распределении и аккумуляции ПАУ в отходах углеобогащения, искусственных почвах (техноземах и эмбриоземах). Показано, что в составе полиаренов исследуемых образцов преобладают легкие, 2- и 3-ядерные соединения. Доминирующим среди ПАУ в молодых почвах (техноземах и эмбриоземах), а также в отходах углеобогащения является нафталин, доля которого в техногенных почвах составляет 26,3 – 68,5

%. Оценка экологической безопасности исследуемых почв, проводимая с определением бенз(а)пиренового эквивалента, показала, что все исследуемые почвы не являются опасными.

8. Результаты исследований показали, что технология формирования на поверхности отходов углеобогащения техногенных почв (техноземов гумусогенных дифференцированных) с послойным нанесением на поверхность отвала ППП и ПСП способствует формированию устойчивого растительного покрова, безопасному размещению и консервации отходов углеобогащения, что фиксируется значительным снижением содержания ПАУ в корнеобитаемом слое по сравнению с эмбриоземами, образованными непосредственно на отходах углеобогащения.

9. Получены новые количественные данные по исследованию запасов углерода в пулах биомассы растений (включая надземную и подземную древесную биомассу, надземную и подземную биомассу травянистой растительности и подстилки) и техноземах, сформированных из литогенных ресурсов разной категории. Полученные данные можно использовать для моделирования результатов климатических проектов на техногенных ландшафтах в горно-таежной подзоне Кузбасса.

10. На основе многолетних и комплексных исследований научно обоснованы научно-технологические основы рационального использования природных и техногенных ресурсов для экологически эффективных технологий рекультивации земель в экономике замкнутого цикла предприятий, которые учитывают воздействие природно-климатических факторов на скорость развития растительного и почвенного покрова.

По теме настоящей диссертационной работы перспективным направлением дальнейших исследований является:

– исследование закономерностей функционирования искусственных почв (техноземов), сформированных на основе литогенных и техногенных ресурсов предприятий, под воздействием природных, техногенных факторов и разных фитоценозов (экспериментальные участки экологического полигона).

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Распоряжением Правительства РФ от 11 июля 2024 г. № 1838-р «Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2050 г.» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/TNB3oQkPRJTmDE3AMaxuTn2KRSHG9X0S.pdf>
2. Минприроды России. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2012 году» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mnr.gov.ru/docs/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_mineralno_syrevykh_resursov_rossiyskoy_federatsii/134151/
3. Ковалев, В. А. Мониторинг состояния природной среды угледобывающих районов Кузбасса / В. А. Ковалев, В. П. Потапов, Е. Л. Счастливцев; под ред. А. М. Федотова. – Новосибирск: СО РАН, 2013. – 312 с.
4. Счастливцев, Е. Л. Цифровая система мониторинга и анализ изменений техногенных ландшафтов / Е. Л. Счастливцев, Н. И. Юкина // Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность и биоразнообразие. Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2024. – С. 161–166.
5. Распоряжение Правительства РФ от 13 июня 2020 г. № 1582-р «Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 г.» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/OoKX6PriWgDz4CNNAxwIYZEE6zm6I52S.pdf>
6. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/

7. Указ Президента Российской Федерации от 01.04.1996 г. № 440 «О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/9017665?ysclid=mrkfil71uv223255026>
8. Экологическое ресурсоведение: учебное пособие / под ред. Ю. А. Мажайского. – М.: ЛЕНАНД, 2015. – 512 с.
9. Арманд, Д. Л. Нам и внукам. 2-е изд. / Д. Л. Арманд. – М.: Мысль, 1966. – 254 с.
10. Анучин, В. А. Основы природопользования. Теоретический аспект / В. А. Анучин. – М.: Мысль, 1978. – 291 с.
11. Реймерс, Н. Ф. Природопользование: словарь-справочник / Н. Ф. Реймерс. – М.: Мысль, 1990. – 639 с.
12. Бобылев, С. Н. Экономика устойчивого развития. Учебное пособие / С. Н. Бобылев, Э. В. Гирусов, Р. А. Перелет. – М.: Ступени, 2004. – 303 с.
13. Голиченков, А. К. Экологический кодекс Российской Федерации: концепция проекта XXI века (основные подходы и положения) / А. К. Голиченков // Государство и право на рубеже веков (материалы Всероссийской конференции). – М.: Институт государства и права РАН Москва, 2001. – С. 21–22.
14. Лунева, Е. В. Рациональное использование природных ресурсов: понятие и правовые критерии / Е. В. Лунева // Lex Russica (Русский закон). – 2017. – № 8 (129). – С. 61–72.
15. Таргульян, В. О. Память почв и реконструкций окружающей среды / В. О. Таргульян, С. В. Горячкин // Почвоведение. – 2011. – № 4. – С. 507–508.
16. Вернадский, В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения / В. И. Вернадский. – М.: Наука, 1987. – 339 с.
17. Никитин, Е. Д. Почвы как природно-культурное наследие, банк биоразнообразия и информации / Е. Д. Никитин, Е. Б. Скворцова, Е. П.

- Сабодина // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2017. – № 88. – С. 138–158.
18. Добровольский, Г. В. Место и роль почвоведения в изучении и решении современных экологических проблем / Г. В. Добровольский // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2006. – № 2. – С. 3–7.
 19. ГОСТ Р 59057–2020. Охрана окружающей среды. Общие требования по рекультивации нарушенных земель: дата введения 2021-04-01. – М.: Стандартиформ, 2020. – 24 с.
 20. Гаджиев, И. М. Стратегия и перспективы решения проблем рекультивации нарушенных земель / И. М. Гаджиев, В. М. Курачев, В. А. Андроханов. – Новосибирск: ЦЭРИС, 2001. – 37 с.
 21. ГОСТ 17.5.1.03–86. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель: дата введения 1988-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 16 с.
 22. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федерального агентства по недропользованию от 25.04.2023 № 247/04 «Об утверждении Порядка использования отходов недропользования, в том числе вскрышных и вмещающих горных пород, пользователями недр» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202306010022?ysclid=mrkfqvswmp37411303>
 23. Пивняк, Г. Г. Научные основы рационального природопользования при открытой разработке месторождений / Г. Г. Пивняк и др. – Днепропетровск: НГУ, 2011. – 566 с.
 24. Xu, Y. Research on ecological environment restoration and mining of open-pit coal mines under the green and low-carbon transformation / Y. Xu, X. He, Y. Hou // China Coal. – 2025. – Vol. 51. – No. 08. – P. 213–220.

25. Хэге, К. Ландшафтный дизайн и экология в районе добычи бурого угля в восточной части города Марица, Болгария / К. Хэге, К. Дребенштедт, Э. Ангелов // *Water Air Soil Pollut.* – 1996. – Vol. 91. – P. 135–144.
26. Томаков, П. И. Экология и охрана природы при открытых горных работах / П. И. Томаков [и др.]. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 1994. – 418 с.
27. Певзнер, М. Е. Горная экология: Учеб. пособ. для вузов / М. Е. Певзнер. – М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2003. – 395 с.
28. Капелькина, Л. П. Развитие исследований по рекультивации нарушенных земель в России / Л. П. Капелькина, В. А. Андроханов; под ред. В. А. Андроханова // *Природно-техногенные комплексы: рекультивация и устойчивое функционирование. Сборник материалов международной научной конференции.* – Новосибирск-Новокузнецк: Окраина, 2013. – С. 4–9.
29. Крупская, Л. Т. История изучения проблем рекультивации нарушенных горными работами земель в ДВФО / Л. Т. Крупская; под ред. В. А. Андроханова // *Природно-техногенные комплексы: рекультивация и устойчивое функционирование. Сборник материалов международной научной конференции.* – Новосибирск-Новокузнецк: Окраина, 2013. – С. 12–23.
30. Избранные труды лаборатории рекультивации почв. Сборник материалов / под ред. В. А. Андроханова. – Новосибирск: Окарина, 2016. – 286 с.
31. Трофимов, С. С. Антропогенный рельеф Кузбасса / С. С. Трофимов, В. А. Овчинников // *Рекультивация в Сибири и на Урале. Сб. статей.* – Новосибирск: Наука, 1970. – С. 5–24.
32. Тарчевский, В. В. Растительность и промышленные загрязнения / В. В. Тарчевский. – Свердловск, 1970. – 183 с.

33. Трещевский, И. В. Лесная рекультивация земель, нарушенных горнотехническими работами / И. В. Трещевский, Ф. Е. Иванов, Я. В. Панков. – Ленинград: ЛенНИИЛХ, 1978. – 40 с.
34. Куприянов, А. Н. Заращение отвалов Кузбасса / А. Н. Куприянов, Л. П. Баранник // Известия Алтайского государственного университета. – 1996. – № 1 (1). – С. 89–91.
35. Гаджиев, И. М. Экология и рекультивация техногенных ландшафтов / И. М. Гаджиев, В. М. Курачев, Ф. К. Рагим-заде. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. – 305 с.
36. Андроханов, В. А. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция / В. А. Андроханов, Е. Д. Куляпина, В. М. Курачев. – Новосибирск: СО РАН, 2004. – 151 с.
37. Баранник, Л. П. Лесообразование на породных отвалах угольных разрезов Южного Кузбасса / Л. П. Баранник, Е. Р. Кандрашин. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. – С.172–179.
38. Манаков, Ю. А. Формирование растительного покрова в техногенных ландшафтах Кузбасса / Ю. А. Манаков, Т. О. Стрельникова, А. Н. Куприянов; под ред. С. И. Миронова. – Новосибирск: СО РАН, 2011. – 168 с.
39. Трофимов, С. С. Гумусообразование в техногенных экосистемах / С. С. Трофимов, Н. Н. Наплекова, Е. Р. Кандрашин. – Новосибирск: Наука, 1986. – 199 с.
40. Манаков, Ю. А. Критерии для диагностики первичных стадий сукцессии на отвалах Кузбасса / Ю. А. Манаков, А. Н. Куприянов // ГИАБ, Кузбасс-1. – 2009. – Отдельный выпуск 7. – С. 186–193.
41. Андроханов, В. А. Принципы оценки почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов / В. А. Андроханов, В. М. Курачев // Сибирский экологический журнал. – 2009. – Т. 16. – № 2. – С. 165–169.

42. Андроханов, В. А. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка / В. А. Андроханов, В. М. Курачев; под ред. А. И. Сысо. – Новосибирск: СО РАН, 2010. – 224 с.
43. Андроханов, В. А. Техноземы: свойства, режимы, функционирование / В. А. Андроханов, С. В. Овсянникова, В. М. Курачев. – Новосибирск: Наука, 2000. – 200 с.
44. Моторина, Л. В. Промышленность и рекультивация земель / Л. В. Моторина, В. А. Овчинников. – М.: Мысль, 1975. – 240 с.
45. Махонина, Г. И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала / Г. И. Махонина. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. – 355 с.
46. Бекаревич, Н. Е. Рекомендации по биологической рекультивации земель в Днепропетровской области / Н. Е. Бекаревич и др. – Днепропетровск: Луч, 1969. – 37 с.
47. Етеревская, Л. В. Систематика и классификация техногенных почв / Л. В. Етеревская, М. Т. Донченко, Л. В. Лехциер; под ред. Т. С. Чибрик // Растения и промышленная среда. Сб. науч. тр. – Свердловск: УрГУ, 1984. – С. 14–21.
48. Капелькина, Л. П. Нарушенные земли Севера и проблемы их рекультивации / Л. П. Капелькина // Арктика: экология и экономика. – 2011. – № 3 (3). – С. 60–67.
49. Капелькина, Л. П. Технологические аспекты рекультивации нарушенных земель на Севере России / Л. П. Капелькина // Проблемы региональной экологии. – 2021. – № 5. – С. 96–99.
50. Тюрюков, А. Г. Проведение рекультивации на севере Ямала / А. Г. Тюрюков // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). – 2020. – Т. 23. – № 3/4 (77/78). – С. 121–128.
51. Игловигов, А. В. Инновационные технологии рекультивации нарушенных земель в условиях Крайнего Севера / А. В. Игловигов, А. А.

- Денисжигитов, Н. В. Санникова // Вестник государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2017. – № 2. – С. 41–49.
52. Дремова, М. С. Очаговый способ рекультивации породных отвалов / М. С. Дремова // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблем. Материалы VIII Национальной научно-практической конференции с международным участием приуроченной к 20 летнему юбилею академии. – Кемерово: Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. – С. 128–132.
53. Аистов, И. П. Перспективы использования биоматов при проведении рекультивации нарушенных земель в районах Крайнего Севера / И. П. Аистов, А. Е. Гаглыева // Системы. Методы. Технологии. – 2013. – № 4. – С. 188–191.
54. Лавриненко, А. Т. Особенности рекультивации техногенно разрушенных земель при открытой добыче угля в засушливых условиях юга средней Сибири / А. Т. Лавриненко, Н. А. Остапова, И. Н. Евсеева // Евразийский Союз Ученых. – 2017. – № 1-1 (34). – С. 38–40.
55. Суюндуков, Я. Т. Применение аборигенной растительности для биологической рекультивации отвалов медноколчеданного месторождения / Я. Т. Суюндуков, Г. Т. Исанбаева, Р. Ф. Хасанова // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. Материалы XI Всероссийской научной конференции с международным участием. – Сатка: Принтоника, 2022. – С. 193–197.
56. Яковлев, А. П. Использование микробных препаратов для оптимизации лесной рекультивации песчано-гравийных карьеров / А. П. Яковлев, Г. И. Булавко // Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность. Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2024. – С. 71 – 75.

57. Куприянов, О. А. Природоподобные технологии: реконструкция растительного покрова на отвалах / О. А. Куприянов и др. // Уголь. – 2025. – № 10 (1198). – С. 114–122.
58. Куприянов, А. Н. Методические рекомендации по реставрации лугово-степной растительности на отвалах угольной промышленности в Кузбассе / А. Н. Куприянов и др.; под ред. Ю. А. Манакова. – Кемерово: КРЭОО «Ирбис», 2017. – 28 с.
59. Куприянов, О. А. Реконструкция лугово-степных фитоценозов на отвалах: монография / О. А. Куприянов и др.; под ред. Е. Л. Счастливцева. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2025. – 168 с.
60. Цандекова, О. Л. Анатомические и морфометрические характеристики *Pinus sylvestris* L., произрастающей на техногенно нарушенных землях угольного разреза «Кедровский» / О. Л. Цандекова, Е. Ю. Колмогорова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 10 (108). – С. 59–63.
61. Петров, А. И. Производительность искусственных сосняков на дражных отвалах в Южно-Уральском лесостепном районе / А. И. Петров, В. С. Котова, С. В. Залесов // Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность. Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2024. – С. 54–56.
62. Сунгурова, Н. Р. Продуктивность сосновых насаждений при рекультивации песчаных карьеров / Н. Р. Сунгурова, И. А. Попкова // *Lesnoy Zhurnal (Forestry Journal)*. – 2022. – № 2. – С. 50–58.
63. Ермакова, М. В. Рост и формирование культур сосны при рекультивации дражных отвалов / М. В. Ермакова // *Лесной вестник/Forestry bulletin*. – 2022. – Т. 26. – № 6. – С. 33–40.
64. Diagne, N. Use of *Frankia* and actinorhizal plants for degraded lands reclamation / N. Diagne [et al.] // *Biomed Res Int*. – 2013. – Vol. 2013. – P. 948258.

65. Buta, M. Soil Reclamation of Abandoned Mine Lands by Revegetation in Northwestern Part of Transylvania: A 40-Year Retrospective Study / M. Buta [et al.] // Sustainability. – 2019. – Vol. 11. – P. 3393.
66. Tilley, D. When a weed is not a weed: succession management using early seral natives for Intermountain rangeland restoration / D. Tilley [et al.] // Rangelands. – 2022. – Vol. 44. – No. 4. – P. 270–280.
67. Lupardus, R. Uncovering traits in recovering grasslands: A functional assessment of oil and gas well pad reclamation / R. Lupardus [et al.] // Ecological Engineering: X. – 2019. – Vol. 5. – P. 100016.
68. Нуреева, Т. В. Применение люпина многолетнего при биологической рекультивации нарушенных при добыче песка земель / Нуреева Т. В. [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2019. – № 1 (41). – С. 41–53.
69. Уфимцев, В. И. Опыт и современное состояние лесной рекультивации в Кузбассе / В. И. Уфимцев // Сибирский лесной журнал. – 2017. – № 4. – С. 12–27.
70. Баранник, Л. П. Экологическое состояние лесов Кузбасса / Л. П. Баранник, В. П. Николайченко, А. Ф. Салагаев. – Кемерово: КРЭОО «Ирбис», 2005. – 136 с.
71. Ковалевский, А. В. Лесная рекультивация угольных отвалов с позиции сохранения фаунистического разнообразия Кузбасса / А. В. Ковалевский // Лесоведение. – 2021. – № 5. – С. 509–522.
72. Халилова, С. Р. Некоторые результаты исследования восстановления и улучшения нарушенных земель методом лесной рекультивации / С. Р. Халилова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2007. – № 4. – С. 49–51.
73. Гончаров, А. Б. Почвоулучшающие свойства ценозов облепихи крушиновой на песчано-меловой смеси нарушенных земель Курской магнитной аномалии / А. Б. Гончаров, Я. В. Панков, Э. И. Трещевская //

- Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3(50). – С. 65–70.
74. Трещевская, Э. И. Использование облепихи крушиновой (*Hipporhamnoides* L.) для лесной рекультивации техногенных ландшафтов / Э. И. Трещевская // Лесотехнический журнал. – 2018. – Т. 8. – № 3 (31). – С. 108–115.
75. Трещевская, Э. И. Применение азотфиксирующих пород для рекультивации нарушенных земель (на примере Курской магнитной аномалии, Россия) / Э. И. Трещевская [и др.]; под ред. Н. В. Яковенко // Лесные экосистемы как глобальный ресурс биосферы: вызовы, угрозы, решения в контексте изменения климата. Материалы Международного лесного форума. – Воронеж: Изд-во Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, 2022. – С. 98–106.
76. Корчагин, И. Е. Использование облепихи крушиновидной (*Hipporhamnoides* L.) при рекультивации нарушенных земель / И. Е. Корчагин // Леса России и хозяйство в них. – 2022. – № 4 (83). – С. 30–37.
77. ГОСТ 59070–2020. Охрана окружающей среды. Рекультивация нарушенных и нефтезагрязненных земель. Термины и определения: дата введения 2021-04-01. – М.: Стандартинформ, 2020. – 55 с.
78. Овсянникова, С. В. Литогенный ресурс техноземов при различных технологиях рекультивации Кедровского угольного разреза Кемеровской области / С. В. Овсянникова, В. П. Середина, В. И. Уфимцев // Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов. Материалы докладов VII Международной конференции. – Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН, 2024. – С. 80–84.
79. Sokolov, D. A. Soil formation in technogenic landscapes: trends, results, and representation in the current classifications (Review) / D. A. Sokolov, V. A. Androkhanov, E. V. Abakumov // Tomsk State University Journal of Biology. – 2021. – No. 56. – P. 6–32.

80. Семина, И. С. Сохранение ресурсов рекультивации как основа экологической безопасности функционирования техногенных ландшафтов / И. С. Семина [и др.] // Проблемы региональной экологии. – 2013. – № 5. – С. 17–20.
81. Семина, И. С. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов / И. С. Семина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S4-20. – С. 3–11.
82. Семина, И. С. О рекультивации нарушенных земель на разрезах Кузбасса / И. С. Семина, В. А. Андроханов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 12. – С. 307–314.
83. Беланов, И. П. Почвенно-экологическое состояние естественных ландшафтов в районе интенсивной добычи каменного угля / И. П. Беланов, И. С. Семина, А. М. Шипилова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 10. – С. 308–313.
84. Семина, И. С. Экологическая значимость вскрышных и вмещающих пород в рекультивации нарушенных земель / И. С. Семина, А. М. Шипилова // Природно-техногенные комплексы: современное состояние и перспективы восстановления. Материалы Международной научной конференции, 13-18 июня 2016 г. – Новосибирск: СО РАН, 2016. – С. 216–224.
85. Семина, И. С. Экологическая значимость вскрышных пород в техногенных ландшафтах Кузбасса / И. С. Семина, В. В. Чаплыгин // Экология урбанизированных территорий. – 2016. – № 1. – С. 103–109.
86. Семина, И. С. Природно-техногенные комплексы Кузбасса: свойства и режимы функционирования / И. С. Семина [и др.]. – Новосибирск: СО РАН, 2013. – 396 с.
87. Андроханов, В. А. Опыт создания опытно-производственной площадки по рекультивации нарушенных земель на разрезе «Заречный» АО

- «СУЭК-Кузбасс» / В. А. Андроханов [и др.] // Уголь. – 2019. – № 12(1125). – С. 60–65.
88. Андроханов, В. А. Почвенно-экологическая оценка рекультивации отвалов угольных месторождений / В. А. Андроханов, А. Е. Богуславский, Д. А. Соколов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2023. – Т. 31. – № 1. – С. 1–12.
89. Андроханов, В. А. Почвенно-экологическая оценка состояния техногенных ландшафтов Кузбасса / В. А. Андроханов, В. П. Данилов // Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность и биоразнообразие. Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2024. – С. 92–96.
90. Шипилова, А. М. Оценка почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов Кузбасса в зависимости от технологии рекультивации нарушенных земель / А. М. Шипилова, И. С. Семина // Известия Уральского государственного горного университета. – 2017. – № 3 (47). – С. 53–56.
91. Госсен, И. Н. Оценка эффективности различных направлений рекультивации отвалов угольных разрезов Кузбасса / И. Н. Госсен, Е. А. Гуркова, Д. А. Соколов // Экология и промышленность России. – 2023. – Т. 27. – № 3. – С. 33–39.
92. Шуклина, А. Е. Оценка факторов дифференциации гранулометрического состава почв техногенных ландшафтов Горловского антрацитового месторождения / А. Е. Шуклина, Н. А. Соколова, С. Е. Худяков; под ред. А. И. Сысо // Почвы в биосфере. Сб. материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. Ч. 2. – Новосибирск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2018. – С. 353–358.

93. Кусов, А. В. Гранулометрическая диагностика внутрипочвенного выветривания обломочного материала в техногенных ландшафтах / А. В. Кусов // Сибирский экологический журнал. – 2007. – Т. 14. – № 5. – С. 837–843.
94. Умарова, А. Б. Функционирование специализированных почвенных конструкций в условиях города Москвы / А. Б. Умарова, А. Э. Вайгель, А. А. Кокорева // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 10 (159). – С. 355–358.
95. Умарова, А. Б. Трансформация водоудерживающей и транспортной функций искусственных почв в условиях г. Москвы / А. Б. Умарова [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2024. – № 4. – С. 14–25.
96. Бутылкина, М. А. Гидрологические свойства конструкторземов в условиях города Москвы / М. А. Бутылкина, А. Б. Умарова, К. Н. Гулакова // Почвы-стратегический ресурс России. Тезисы докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв. Ч. 3. – Москва-Сыктывкар: Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 2021. – С. 11–13.
97. Сусленкова, М. М. Трансформация агрохимических свойств конструкторземов разного строения в условиях г. Москвы / М. М. Сусленкова, А. Б. Умарова, А. А. Кокорева // Проблемы агрохимии и экологии. – 2019. – № 3. – С. 8–14.
98. Скотарева, А. Е. Оценка факторов, определяющих скорость и направленность развития растительных сообществ на отвалах отходов добычи угля (на примере Горловского антрацитового месторождения) / А. Е. Скотарева, Н. А. Иванов, Д. А. Соколов // Почвы и окружающая среда. – 2024. – Т. 7. – № 2. – С. 1–14.

99. Sena, K. Spoil Type Influences Soil Genesis and Forest Development on an Appalachian Surface Coal Mine Ten Years after Placement / K. Sena [et al.] // *Forests*. – 2018. – Vol. 9. – P. 780.
100. Соколов, Д. А. Содержание и структура запасов углерода в углесодержащих почвах техногенных ландшафтов (на примере Горловского антрацитового месторождения) / Д. А. Соколов, Е. А. Гуркова // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. – 2025. – № 70. – С. 26–52.
101. Чибрик, Т. С. Некоторые аспекты оценки опыта биологической рекультивации на угольных месторождениях Урала / Т. С. Чибрик // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. – 2012. – Т. 5. – № 37-1. – С. 216–218.
102. Чибрик, Т. С. Подходы к реабилитации породных отвалов угольных предприятий путем биологической рекультивации (на примере Уральского региона) / Т. С. Чибрик [и др.] // *Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. Материалы XI Всероссийской научной конференции с международным участием*. – Сатка: Принтоника, 2022. – С. 220–224.
103. Лукина, Н. В. Динамика восстановления растительности и микоризы на рекультивированных и нереккультивированных участках золоотвала Верхнетагильской ГРЭС (Средний Урал) / Н. В. Лукина [и др.] // *Экосистемы*. – 2019. – № 20. – С. 188–196.
104. Трещевская, С. В. Лесная рекультивация техногенно нарушенных земель Курской магнитной аномалии: итоги и перспективы / С. В. Трещевская [и др.] // *Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. Материалы XI Всероссийской научной конференции с международным участием*. – Сатка: Принтоника, 2022. – С. 203–206.
105. Трещевская, Э. И. Формирование слоистых субстратов при лесной рекультивации нарушенных земель Курской магнитной аномалии / Э. И.

- Трещевская, С. В. Трещевская, К. В. Бобрешов // Регион: системы, экономика, управление. – 2012. – № 4 (19). – С. 132–137.
106. Залесов, С. В. Совершенствование способов рекультивации различных видов нарушенных земель / С. В. Залесов [и др.] // Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность. Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2024. – С. 28–31.
107. Яковченко, М. А. Использование зеленых технологий при проведении биологической рекультивации / М. А. Яковченко, А. А. Косолапова // Лучшая исследовательская статья. – 2022. – С. 181–190.
108. Белюченко, И. С. Методы рекультивации нарушенных земель / И. С. Белюченко // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2019. – Т. 15. – № 1. – С. 4–13.
109. Корчагин, И. Е. Опыт рекультивации золоотвала в Свердловской области / И. Е. Корчагин // Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность. Сб. научных трудов всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2024. – С. 36–38.
110. Миронова, С. И. Проблемы биологической рекультивации нарушенных горнодобывающими предприятиями земель в Якутии: современное состояние и перспективы / С. И. Миронова // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 11. – С. 11–14.
111. Голубев, Д. А. Перспективные технологии рекультивации нарушенных горными работами земель в Дальневосточном федеральном округе / Д. А. Голубев, Л. Т. Крупская // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015. – № 1. – С. 79–85.
112. Абакумов, Е. В. Микробиомные драйверы почвовосстановления на нарушенных землях северо-запада России / Е. В. Абакумов, Е. Е. Андронов, А. К. Кимеклис // Современная биотехнология: актуальные

- вопросы, инновации и достижения. Сб. тезисов Всероссийской с международным участием онлайн-конференции, Кемерово, 21 октября 2020 г. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2020. – С. 184–185.
113. Дорогая, Е. С. Исследование микробиома карьера по добыче строительных материалов в Зауралье Республики Башкортостан / Е. С. Дорогая [и др.] // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. Материалы XI Всероссийской научной конференции с международным участием. – Сатка: Принтоника, 2022. – С. 59–62.
114. Абакумов, Е. В. Почвообразование на отвалах карьеров по добыче известняка и глин в районе г. Ухта / Е. В. Абакумов [и др.] // Почвоведение. – 2011. – № 4. – С. 417–423.
115. Guo, Y. The influence of transplanted trees on soil microbial diversity in coal mine subsidence areas in the Loess Plateau of China / Guo Y. [et al.] // Glob. Ecol. Conserv. – 2019. – Vol. 21. – P. e00877.
116. Wang, F. Succession of bacterial community composition in coastal agricultural soils along a 1000-year reclamation chronosequence in Hangzhou Bay, China / F. Wang [et al.] // Ecol. Indic. – 2021. – Vol. 121. – P. 106972.
117. Wang, L. Application of microbial repair in the ecological restoration process of open-pit coal mines / L. Wang, Y. Bai, J. Hu // China Manganese Industry. – 2024. – Vol. 42. – No. 05. – P. 119–122.
118. Тихменев, П. Е. Экологические аспекты восстановления земель, нарушенных при разработке месторождений серебра на Севере Дальнего Востока России / П. Е. Тихменев, А. А. Пугачёв, Е. А. Тихменев // Вестник Северо-Восточного государственного университета. – 2017. – № 28. – С. 72–79.
119. Лиханова, И. А. Формирование притундровых лесов на карьерах строительных материалов / И. А. Лиханова [и др.] // Теоретическая и прикладная экология. – 2019. – № 4. – С. 88–94.

120. Чибрик, Т. С. Формирование флоры и растительности на отвалах Кемпирсайского никелевого месторождения (Северный Казахстан) / Т. С. Чибрик [и др.] // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. Материалы XI Всероссийской научной конференции с международным участием. – Сатка: Принтоника, 2022. – С. 225–229.
121. Чибрик, Т. С. Восстановление биоразнообразия на отвалах Черемшанского никелевого месторождения / Т. С. Чибрик [и др.] // Промышленная ботаника. – 2019. – Т. 19. – № 3. – С. 45–48.
122. Филимонова, Е. И. Восстановление растительности на территории карьерно-отвальных комплексов после добычи карбонатного сырья / Е. И. Филимонова [и др.] // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. Материалы XI Всероссийской научной конференции с международным участием. – Сатка: Принтоника, 2022. – С. 207–213.
123. Минприроды России. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году. Государственный доклад. – М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2025. – 721 с.
124. Закон РФ «О недрах» от 21.02.1992 № 2395-1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_343/
125. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/
126. Горная энциклопедия. Т. 5. / под ред. Е. А. Козловского. – М.: Советская энциклопедия, 1991. – 541 с.
127. Рациональное использование вторичных минеральных ресурсов в условиях экологизации и внедрения наилучших доступных технологий: монография / под ред. Ф. Д. Ларичкина, В. А. Кныша. – Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2019. – 252 с.

128. Никифоров, А. А. Нарушенные земли при добыче алмазов и проблемы их рекультивации / А. А. Никифоров, С. И. Миронова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2013. – № 8-2. – С. 235–237.
129. Водолеев, А. С. Возможности использования осадков сточных вод в качестве удобрений и рекультиванта / А. С. Водолеев [и др.] // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2024. – № 3 (49). – С. 66–76.
130. Берлякова, О. Г. Использование осадков сточных вод (осв) в рекультивации нарушенных земель / О. Г. Берлякова, Н. Б. Ермак, Л. И. Линдина // СибСкрипт. – 2010. – № 1. – С. 33–37.
131. Лусис, А. В. Применение осветленных коммунальных стоков (ОКС) и осадка сточных вод (ОСВ) в качестве мелиорантов для рекультивации отвалов отходов рудообогащения (хвостов) / А. В. Лусис, Т. Т. Горбачева, Л. А. Иванова // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019. Сб. статей по материалам международной научно-практической конференции / под ред. Л. И. Лукина, Н. В. Лямина. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2019. – С. 940–944.
132. Петрова, Т. А. Рекультивация техногенно-нарушенных земель с применением осадков сточных вод в качестве мелиорантов / Т. А. Петрова, Э. Рудзиш // Записки Горного института. – 2021. – Т. 251. – С. 767–776.
133. Борматенков, А. М. Использование смеси осадков сточных вод и отходов лесоперерабатывающего производства как почвенного субстрата для рекультивации нарушенных земель / А. М. Борматенков [и др.] // Resources and Technology. – 2020. – Т. 17. – № 2. – С. 97–113.
134. Куклина, Н. А. Инновационная технология использования удобрений из органических отходов при выращивании лесосырьевых плантаций на нарушенных землях / Н. А. Куклина // Сб. тезисов участников форума

- «Наука будущего – наука молодых». Т. 2. – Нижний Новгород: ООО «Инконсалт К», 2017. – С. 32–34.
135. Бачурина, А. В. Эффективность лесной рекультивации нарушенных земель в зоне влияния медеплавильного производства / А. В. Бачурина, С. В. Залесов, О. В. Толкач // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24. – № 6. – С. 67–71.
136. Капелькина, Л. П. Рекультивация нарушенных земель в Кузбассе (на примере породных отвалов шахты «Нагорная») / Л. П. Капелькина // Региональная экология. – 2013. – № 1-2(34). – С. 143–152.
137. Zhu, X. Research on the combined soil improvement and vegetation restoration model of reclamation of open-pit coal mine drainage site / X. Zhu, L. Da // Journal of East China Normal University (Natural Science Edition). – 2025. – No. 06. – P. 63–70.
138. Duo, Xin. Influencing factors and control strategies of soil active organic carbon in reclamation of open-pit coal mines / D. Xin, Z. Xu, L. Yang // Journal of Natural Resources. – 2024. – Vol. 39. – No. 11. – P. 2735–2752.
139. Мартынюк, А. А. Использование осадков сточных вод для рекультивации техногенно нарушенных земель / А. А. Мартынюк, Л. Л. Коженков, А. Н. Жидков // Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель. Материалы XI Всероссийской научной конференции с международным участием. – Сатка: Принтоника, 2022. – С. 128–131.
140. Беланов, И. П. Шлаки металлургического производства – перспективный материал для рекультивации техногенных отходов / И. П. Беланов [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. – 2018. – Т. 61. – № 12. – С. 987–992.
141. Шевченко, Т. В. Рациональное использование окисленных каменных углей / Т. В. Шевченко, Ю. В. Устинова, А. М. Попов // Экология и промышленность России. – 2019. – Т. 23. – № 5. – С. 22–27.

142. Патраков, Ю. Ф. Невостребованные ресурсы недр в восстановлении нарушенных горными работами земель / Ю. Ф. Патраков, Б. А. Анферов, Л. В. Кузнецова // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 10. – С. 37–39.
143. А.с. 1730742 А1 СССР, МПК А01В 79/02. Способ рекультивации нарушенных земель / А. П. Красавин, И. В. Катаева, А. Н. Хорошавин, Г. П. Арсенов; заявл. 20.09.1989; опубл. 20.12.1995.
144. Пендюрин, Е. А. Способ восстановления нарушенных территорий / Е. А. Пендюрин, А. В. Святченко, Н. Ю. Кирюшина // Вектор ГеоНаук. – 2022. – Т. 5. – № 1. – С. 83–89.
145. Юрк, В. М. Оценка возможности использования золошлаковых отходов для биологической рекультивации / В. М. Юрк [и др.] // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2025. – № 3. – С. 17–31.
146. Шайхислам, Г. Оценка состава и свойств горных пород, окисленного каменного угля и золошлаковых отходов как материалов для биологической рекультивации / Г. Шайхислам [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2024. – № 7. – С. 21–37.
147. Шайхислам, Г. Получение почвогрунтов на основе окисленного каменного угля для биологической рекультивации нарушенных земель / Г. Шайхислам, Т. М. Соловьев, С. А. Эпштейн // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2024. – № 8. – С. 5–18.
148. Tsadilas, C. D. Utilization of coal fly ash and municipal sewage sludge in agriculture and for reconstruction of soils in disturbed lands: results of case studies from Greece and China / C. D. Tsadilas, Z. Hu, Y. Bi // Int. J. Coal Sci. Technol. – 2018. – Vol. 5. – P. 64–69.
149. Пашкевич, М. А. Техногенные массивы и их воздействие на окружающую среду / М. А. Пашкевич. – СПб.: Санкт-Петербургский горный институт, 2000. – 230 с.

150. Приказ Минприроды России «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов» от 27.05.2022 г. № 371 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://carbonreg.ru/pdf/%D0%9E%D0%B1%D1%89%D0%B8%D0%B5%20%D0%9D%D0%9F%D0%90/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%B7%20%D0%9C%D0%B8%D0%BD%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%8B%20%D0%A0%D0%A4%20%D0%BE%D1%82%2027.05.2022%20N%20371.pdf>
151. Курачев, В. М. Классификация почв техногенных ландшафтов / В. М. Курачев, В. А. Андроханов // Сибирский экологический журнал. – 2002. – № 3. – С. 255–261.
152. Гаджиев, И. М. Генетические и экологические аспекты исследования и классификации почв техногенных ландшафтов / И. М. Гаджиев, В. М. Курачев // Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1992. – С. 6–15.
153. Knabe, W. Methode and resutat of strip-mine reclamation in Germany / W. Knabe // Ohio J. Sci. – 1964. – Vol. 64. No. 2. – P. 75–82.
154. Soloviev, S. Restoration of vegetation cover in reclaimed areas with coal preparation waste in Kuzbass / S. Soloviev [et al.] // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 22. – P. 1015.
155. Keith, L. H. The Source of U.S. EPA’s Sixteen PAH Priority Pollutants / L. H. Keith // Polycycl. Aromat. Compd. – 2015. – Vol. 35. – P. 147–160.
156. Уфимцев, В. И. Методические рекомендации по созданию природоподобных лесных экосистем на отвалах угольной промышленности в Кузбассе / В. И. Уфимцев [и др.]; под ред. Ю. А. Манакова. – Кемерово: КРЭОО «Ирбис», 2023. – 36 с.
157. Уфимцев, В. И. Формирование корневых систем сосны обыкновенной на рекультивированных отвалах в Кузбассе / В. И. Уфимцев // Вестник

- Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 7(81). – С. 44–47.
158. Семина, И. С. Оценка и рациональное использование природных ресурсов для рекультивации почв в горно-таежной зоне Кузбасса: дис. ... канд. биол. наук / И. С. Семина. – Новосибирск, 2011. – 202 с.
159. Хмелев, В. А. Почвенные ресурсы Кемеровской области и основы их рационального использования / В. А. Хмелев, А. А. Танасиенко; под ред. А. И. Сысо. – Новосибирск: СО РАН, 2013. – 477 с.
160. Трофимов, С. С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области / С. С. Трофимов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. – 300 с.
161. Крапивкина, Э. Д. Неморальные реликты во флоре черневой тайги Горной Шории / Э. Д. Крапивкина. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 229 с.
162. Куминова, А. В. Растительность Кемеровской области / А. В. Куминова. – Новосибирск: ОГИЗ, 1950. – 167 с.
163. Флора Кемеровской области / под ред. С. А. Шереметовой. – Новосибирск: СО РАН, 2023. – 520 с.
164. Гаджиев, И. М. Эволюция почв южной тайги Западной Сибири / И. М. Гаджиев. – Новосибирск: Наука, 1982. – 278 с.
165. Трофимов, С. С. Горно-таежные глубокоподзоленные непромерзающие почвы Горной Шории / С. С. Трофимов, С. А. Таранов // Лес и почва. Материалы Всесоюзного научной конференции по лесному почвоведению, Красноярск, 15 июня 1965 г. – Красноярск: Красноярское книжное издательство, 1968. – С. 107–120.
166. Димо, В. Н. Тепловой режим почв СССР / В. Н. Димо. – М.: Колос, 1972. – 360 с.
167. Угольная база России. Т. II. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский, бассейны; месторождения Алтайского края и Республики Алтай) / под

- ред. А.П. Авдеева, В.Ф. Череповского, Г.Н. Шарова, А.З. Юзвицкого. – М.: ООО «Геоинформцентр», 2003. – 604 с.
168. Котельников, Д. Д. Глинистые минералы осадочных пород / Д. Д. Котельников, А. И. Конюхов. – М.: Недра, 1986. – 247 с.
169. Рагим-Заде, Ф. К. Техногенные элювии вскрышных пород угольных месторождений Сибири, оценка их потенциального плодородия и пригодности для восстановления почвенного покрова: автор. дис. ... канд. биол. наук / Ф. К. Рагим-Заде. – Новосибирск, 1977. – 23 с.
170. Белицина, Г. Д. Почвоведение. Учеб. для ун-тов. В 2-х ч. Ч. 1. Почва и почвообразование / Г. Д. Белицина, В. Д. Васильевская, Л. А. Гришина; под ред. В. А. Ковда, Б. Г. Розанова. – М.: Высшая школа, 1988. – 400 с.
171. Fernandes, P. E. Influence of the hydrophobicity and surface roughness of mangoes and tomatoes on the adhesion of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium and evaluation of cleaning procedures using surfactin / P. E. Fernandes [et al.] // Food Control. – 2014. – Vol. 41. – P. 21–26.
172. Pogorzelski, S. J. *Pinus sylvestris* L. needle surface wettability parameters as indicators of atmospheric environment pollution impacts: Novel contact angle hysteresis methodology / S. J. Pogorzelski, P. Rochowski, J. Szurkowski // Appl. Surf. Sci. – 2014. – Vol. 292. – P. 857–866.
173. Холодов, В. А. Контактные углы смачивания и водоустойчивость почвенной структуры / В. А. Холодов, Н. В. Ярославцева, М. А. Яшин // Почвоведение. – 2015. – № 6. – С. 693.
174. Милановский, Е. Ю. Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения / Е. Ю. Милановский. – М.: Геос, 2009. – 186 с.
175. Генезис, просадочность лессовых пород и методы их изучения. Труды Всесоюзного совещания по проблемам лессовых пород, 1980 г. / под ред. Г. А. Мавлянова. – Ташкент: Фан, 1995. – 312 с.
176. СанПиН 1.2.3685–21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов

- среды обитания: дата введения 2021-03-01. – М.: Роспотребнадзор, 2021. – 469 с.
177. Торгульян, В. О. Почва как биокосная система: реактор, память и регулятор биосферных взаимодействий / В. О. Торгульян, Т. А. Соколова // Почвоведение. – 1972. – № 1. – С. 34–37.
 178. Минеев, В. Г. Агрохимия: учеб. 3-е изд. / В. Г. Минеев. – М.: Изд-во Моск. ун-та: Наука, 2006. – 720 с.
 179. Семина, И. С. Оценка литогенных ресурсов и их рациональное использование в рекультивации нарушенных земель / И. С. Семина, В. А. Андроханов // Развитие производительных сил Кузбасса: история, современный опыт, стратегия будущего. Материалы Международной научно-практической конференции. В 4-х т. – Москва: Российская академия наук, 2024. – С. 332–336.
 180. Терехова, В. А. Биотестирование почв: подходы и проблемы / В. А. Терехова // Почвоведение. – 2011. – № 2. – С. 190–198.
 181. Журавлева, Н. В. Комплексная оценка токсичности отходов горной промышленности с использованием химических, физико-химических и биологических методов / Н. В. Журавлева, З. Р. Исмагилов, О. В. Иваныкина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 7. – С. 352–361.
 182. Бардина, Т. В. Оценка экологического состояния почвогрунтов объектов прошлого экологического ущерба методами биотестирования / Т. В. Бардина [и др.] // Проблемы региональной экологии. – 2014. – № 5. – С. 37–41.
 183. Янтурин, С. И. Оценка токсичности почв объектов размещения отходов / С. И. Янтурин, О. Б. Прошкина, Г. Ш. Кужина // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 11-1. – С. 194–197.
 184. Степанова, Л. П. Экологическая оценка степени фитотоксичности почв антропогенно-трансформированных территорий / Л. П. Степанова, Е. В.

- Яковлева, А. В. Писарева // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2017. – № 2. – С. 10–15.
185. Бардина, Т. В. Использование методов биотестирования для оценки экологического состояния почвогрунтов рекультивированного карьера / Т. В. Бардина [и др.] // Биосфера. – 2020. – Т. 12. – № 1-2. – С. 1–11.
186. Казанский, Ю. П. Осадочные породы (состав, текстура, типы разрезов) / Ю. П. Казанский, О. А. Бетехина, А. В. Ван. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. – 269 с.
187. Журавлева, Н. В. Комплексная оценка токсичности промышленных отходов предприятий Кемеровской области / Н. В. Журавлева, Т. Н. Воропаева, О. В. Иваныкина // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2006. – № 6-2 (58). – С. 86–89.
188. ГН 2.1.7.251-09 Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 11 с.
189. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 15 с.
190. СанПиН 42-128-4433-87 Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве. – М.: Министерство здравоохранения СССР, 1998. – 19 с.
191. Семина, И. С. Рациональное использование литогенных ресурсов для ускоренного восстановления растительного и почвенного покрова на участках рекультивации / И. С. Семина // Экология и промышленность России. – 2026. – № 7. – С. 33–39.
192. Курачев, В. М. Сингенетичность растительности и почв техногенных ландшафтов: экологические аспекты, классификация / В. М. Курачев, Е.

- Р. Кандрашин, Ф. К. Рагим-Заде // Сибирский экологический журнал. – 1994. – Т. 1. – № 3. – С. 208–213.
193. Госсен, И. Н. Бонитировочный подход к оценке почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов Сибири (на примере отвалов антрацитовых, каменно- и буроугольных месторождений) / И. Н. Госсен [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2016. – № 2 (39). – С. 71–82.
194. Шишов, Л. Л. Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв / Л. Л. Шишов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 304 с.
195. Щербинин, В. И. Принципы бонитировки почв Западной Сибири / В. И. Щербинин. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. – 118 с.
196. Семина, И. С. Рациональное использование природных ресурсов на отвалах Калтанского (Осинниковского) угольного разреза / И. С. Семина // Проблемы региональной экологии. – 2010. – № 3. – С. 193–196.
197. Семина, И. С. Оценка экологической безопасности функционирования техногенных ландшафтов на основе исследования изменения температурного режима молодых почв / И. С. Семина, И. П. Беланов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № S4-20. – С. 12–24.
198. Семина, И. С. Исследования температурного режима эмбриозёмов на отвалах калтанского угольного разреза / И. С. Семина, В. А. Андроханов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 5. – С. 189–195.
199. Семина, И. С. Влияние температурного режима на развитие почвообразовательного процесса при рекультивации нарушенных земель / И. С. Семина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 8. – С. 280–281.
200. Семина, И. С. Исследования температурного режима эмбриозёмов на отвалах Калтанского угольного разреза / И. С. Семина, В. А. Андроханов

- // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № 9. – С. 50–55.
201. Качинский, Н. А. Физика почвы / Н. А. Качинский. – М.: Высшая школа, 1965. – 322 с.
202. Теории и методы физики почв: коллективная монография / под ред. Е. В. Шеина, Л. О. Карпачевского. – М.: Гриф и К, 2007. – 616 с.
203. Баранов, А. Оценка физических свойств техноземов в горно-таежной подзоне Кемеровской области – Кузбасса / А. Баранов, И. С. Семина // Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность и биоразнообразие. Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2024. – С. 97–100.
204. Вайгель, А. Э. Изменение свойств твердофазных компонентов почвенных конструкций в первые годы их функционирования / А. Э. Вайгель [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 5(115). – С. 48–52.
205. Полохин, О. В. Трансформация литогенных форм фосфатов при почвообразовании в техногенных ландшафтах (на примере КАТЭКа): автор. дис. ... канд. биол. наук / О. В. Полохин. – Новосибирск, 2008. – 18 с.
206. Качинский, Н. А. О влажности почвы и методах ее изучения / Н. А. Качинский. – М.: АН СССР, 1930. – 78 с.
207. Роде, А. А. Почвенная влага / А. А. Роде. – М.: АН СССР, 1952. – 445 с.
208. Роде, А. А. Основы учения о почвенной влаге. Т. 1 / А. А. Роде. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 663 с.
209. Умарова, А. Б. Преимущественные потоки влаги в почвах: закономерности формирования и значение в функционировании почв / А. Б. Умарова. – М.: ГЕОС, 2011. – 266 с.
210. Худоногова, Е. Г. Геоботаника: фитоценология, география растений. Учебное пособие к лекционным, лабораторно-практическим и

самостоятельным занятиям для бакалавров / Е. Г. Худоногова. – Иркутск: Молодежный, 2020. – 123 с.

211. Семина, И. С. Мониторинговые исследования по учету видового состава лесных насаждений, численности экземпляров на пробных площадках экологического полигона / И. С. Семина [и др.] // Уголь. – 2025. – № 2 (1190). – С. 119–124.
212. Семина, И. С. Мониторинг биогеоценозов на рекультивированных территориях отходами углеобогащения / И. С. Семина [и др.] // Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность и биоразнообразие. Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2024. – С. 270–276.
213. Семина, И. С. Учет видового состава растений на мониторинговых (пробных) площадках экологического полигона (первый год создания полигона) / И. С. Семина, С. В. Соловьев, Е. А. Бобренок // Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность и биоразнообразие. Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2024. – С. 277–283.
214. Семина, И. С. Оценка современного почвенно-экологического состояния участков рекультивации в горно-таежной подзоне Кузбасса / И. С. Семина [и др.] // Экология и промышленность России. – 2025. – Т. 29. – № 1. – С. 66–71.
215. Семина, И. С. Оценка эффективности техноземов, модифицированных при биологической рекультивации нарушенных земель / И. С. Семина, Е. А. Жарких // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. / под ред. С. В. Коновалова. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2026. – С. 3–5.
216. Семина, И. С. Опыт использования отходов углеобогащения для рекультивации нарушенных участков / И. С. Семина, В. А. Андроханов,

- Е. Д. Куляпина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – № 9. – С. 159–175.
217. Семина, И. С. Почвенно-экологическое обследование участков, рекультивированных отходами углеобогащения, на примере Кемеровской области – Кузбасса / И. С. Семина, В. А. Андроханов // Уголь. – 2021. – № 7 (1144). – С. 57–62.
218. Семина, И. С. Рекультивация техногенно нарушенных земель Кузбасса с использованием отходов углеобогащения / И. С. Семина, Е. Д. Куляпина // Почвы – стратегический ресурс России. Тезисы докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв / под ред. С. А. Шоба, И. Ю. Савин. – Москва-Сыктывкар, 2021. – С. 891–892.
219. Семина, И. С. Почвенно-экологическое состояние молодых почв на рекультивированных участках с использованием отходов углеобогащения / И. С. Семина, В. А. Андроханов // Углекислотная и экология Кузбасса. Сборник тезисов докладов XI Международного Российско-Казахстанского Симпозиума. – Кемерово: Федеральный исследовательский центр угля и углекислоты Сибирского отделения Российской академии наук, 2022. – С. 82.
220. Johnsen, A. R. Principles of microbial PAH-degradation in soil / A. R. Johnsen, L. Y. Wick, H. Harms // Environmental Pollution. – 2005. – Vol. 133. – P. 71–84.
221. Wang, C. Characteristics and Source Identification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Urban Soils: A Review / C. Wang [et al.] // Pedosphere. – 2017. – Vol. 27. – No. 1. – P. 17–26.
222. Семина, И. С. Полициклические ароматические углеводороды в техногенных почвах на участках рекультивации с использованием отходов углеобогащения / И. С. Семина, Д. А. Соколов, С. В. Морозов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2026. – № 2 (специальный выпуск 3). – С. 20.

223. Соколов, Д. А. Полициклические ароматические углеводороды в почвах отвалов антрацитовых месторождений Сибири / Д. А. Соколов [и др.] // Почвоведение. – 2021. – № 6. – С. 701–714.
224. Kuidina, S. A. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils of the Kuznetsk Coal Basin Dumps / S. A. Kuidina [et al.] // Eurasian Soil Science. – 2026. – Vol. 59. No. 1. – P. 1–13.
225. Соколов, Д. А. Мониторинг пылевых выпадений в зоне влияния технологической автодороги Горловского антрацитового разреза (Новосибирская область) / Д. А. Соколов [и др.] // Почвы и окружающая среда. – 2021. – Т. 4. – № 1. – С. e133.
226. Журавлева, Е. В. Определение концентрации полициклических ароматических углеводородов в пыли каменного угля, образующейся на предприятиях по транспортировке и переработке угля / Е. В. Журавлева, В. А. Красилов, Н. В. Журавлева // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2022. – № 4 (152). – С. 43–51.
227. Wild, S. R. Polynuclear aromatic hydrocarbons in the United Kingdom environment: a preliminary source inventory and budget / S. R. Wild, K. C. Jones // Environmental Pollution. – 1995. – No. 88. – P. 91–108.
228. Choi, H. G. Mussel watch program for organic contaminants along the Korean coast, 2001 – 2007 / H. G. Choi [et al.] // Environ. Monit. Assess. – 2010. – Vol. 169. – P. 473–474.
229. Jones, K. C. Organic contaminants in Welsh soils: polynuclear aromatic hydrocarbons / K. C. Jones [et al.] // Environ. Sci. Technol. – 1989. – Vol. 23. – P. 540–550.
230. Смола, В. И. ПАУ в окружающей среде: проблемы и решения. Т. I / В. И. Смола. – М.: Полиграф сервис, 2013. – 384 с.
231. Canadian Council of Ministers of the Environment. Polycyclic aromatic hydrocarbons, Canadian soil quality guidelines for protection of environmental and human health. – Gatineau, 2010. – 216 p.

232. Шамилишвили, Г. А. Особенности фракционного состава полициклических ароматических углеводородов и полиэлементного загрязнения почв урбанизированных территорий и их гигиеническая характеристика (на примере почв функциональных зон Санкт-Петербурга) / Г. А. Шамилишвили [и др.] // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95. – № 9. – С. 827–837.
233. Nadal, M. Levels of PAHs in soil and vegetation samples from Tarragona County, Spain / M. Nadal, M. Schuhmacher, J. L. Domingo // Environmental Pollution. – 2004. – Vol. 132. – P. 1–11.
234. Liu, X. Spatial distribution, environmental behavior, and health risk assessment of PAHs in soils at prototype coking plants in Shanxi, China: stable carbon isotope and molecular composition analyses / X. Liu [et al.] // J. Hazard. Mater. – 2024. – Vol. 468. – P. 133802.
235. Семина, И. С. Геохимический фон в молодых почвах на рекультивированных участках с использованием отходов углеобогащения / И. С. Семина, В. А. Андроханов // Уголь. – 2022. – № 6 (1155). – С. 74–79.
236. Шпирт, М. Я. Микроэлементы горючих ископаемых / М. Я. Шпирт, В. В. Рашевский. – М.: Кучково поле, 2010. – 384 с.
237. Шпирт, М. Я. Особенности микроэлементного состава углей, сланцев и нефтей различных осадочных бассейнов / М. Я. Шпирт, С. А. Пунанова // Химия твердого топлива. – 2010. – № 4. – С. 57–65.
238. Шпирт, М. Я. Особенности накопления микроэлементов в углях различных бассейнов России / М. Я. Шпирт, С. А. Пунанова // Химия твердого топлива. – 2011. – № 3. – С. 10–25.
239. Шпирт, М. Я. Особенности накопления ртути в нефтях, углях и продуктах их переработки / М. Я. Шпирт, С. А. Пунанова // Химия твердого топлива. – 2011. – № 5. – С. 42–49.
240. Юдович, Я. Э. Ртуть в углях / Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис. – Сыктывкар: ИГ Коми научный центр УрО РАН, 2007. – 96 с.

241. Юдович, Я. Э. Содержание токсичных элементов во вскрышных и вмещающих породах месторождений Кемеровской области / Я. Э. Юдович [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 3. – С. 187–196.
242. Семина, И. С. Сопряженный анализ результатов почвенно-экологических, геоботанических исследований и оценка возможности использования отходов углеобогащения для рекультивации нарушенных земель / И. С. Семина, В. А. Андроханов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2025. – № 1. – С. 20–33.
243. Семина, И. С. Температурный режим рекультивированных почв с использованием отходов углеобогащения в Кузбассе / И. С. Семина, В. А. Андроханов, А. М. Шипилова // Уголь. – 2022. – № 7. – С. 60–65.
244. Семина, И. С. Гидротермический режим рекультивированных почв с использованием отходов углеобогащения / И. С. Семина [и др.] // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2022. – № 8. – С. 362–369.
245. Семина, И. С. Оценка современного восстановления биогеоценозов на рекультивированных территориях отходами углеобогащения / И. С. Семина [и др.] // Экология и промышленность России. – 2024. – Т. 28. – № 8. – С. 54–59.
246. Semina, I. Assessment of revegetation with waste coal on the reclaimed sites in the Kemerovo region – Kuzbass / I. Semina, V. Androkhanov, S. Solovyev // E3S Web of Conferences. URM 2021 – International Scientific and Research Conference on Knowledge-Based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources. 2021. – P. 4011.
247. Semina, I. S. Soil and ecological state of reclaimed sites with the use of waste coal / I. S. Semina, V. A. Androkhanov, E. D. Kulyapina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 2020 International Scientific and Research Conference on Knowledge-Based Technologies in Development and

Utilization of Mineral Resources. Novokuznetsk, Virtual: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 12046.

248. Семина, И. С. Оценка восстановления растительного покрова на рекультивированных участках отходами углеобогащения в Кемеровской области-Кузбассе / И. С. Семина [и др.] // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2021. – № 7. – С. 394–399.
249. Jaccard, P. Étude comparative de la distribution florale dans une portion des Alpes et des Jura / P. Jaccard // Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles. – 1901. – Vol. 37. – P. 547–579.
250. Семина, И. С. Почвенно-экологическое состояние рекультивированных участков с использованием отходов углеобогащения / И. С. Семина, В. А. Андроханов, Е. Д. Куляпина // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2020. – № 6. – С. 439–444.
251. Семина, И. С. Научное обоснование рационального использования природных ресурсов для рекультивации нарушенных земель в горно-таежной подзоне Кемеровской области – Кузбасса / И. С. Семина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2026. – № 3 (специальный выпуск 7). – С. 40.
252. Семина, И. С. Рациональное использование литогенных ресурсов рекультивации как основа для экологически безопасного развития техногенных ландшафтов / И. С. Семина // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 11. – С. 36–38.
253. Семина, И. С. Ресурсы рекультивации и их рациональное использование при восстановлении нарушенных земель / И. С. Семина // Отражение био-, гео-, антропосферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове. Сборник материалов IV Всероссийской научной конференции с международным участием. Т. 3. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2010. – С. 199–201.
254. Андроханов, В. А. Рациональное использование георесурсов с целью обеспечения эффективности рекультивации на разрезах Кузбасса / В. А.

- Андроханов, И. С. Семина // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2014. – № 1. – С. 363–368.
255. Семина, И. С. Рациональное использование литогенных ресурсов в рекультивации с целью устойчивого функционирования техногенных ландшафтов Кузбасса / И. С. Семина // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2015. – № 2 (12). – С. 84–88.
256. Семина, И. С. Комплексные исследования минеральных ресурсов в горно-таежной подзоне Кемеровской области – Кузбасса, оценка их пригодности для рекультивации нарушенных земель / И. С. Семина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2026. – № 1. – С. 85–110.
257. Адаменко, М. М. Влияние вариабельности характеристик регионального климата на геосистемы гор Кузнецкого Алатау (Канымское нагорье) / М. М. Адаменко, М. Д. Ананичева, А. А. Абрамов // Криосфера Земли. – 2026. – Т. 30. – № 1. – С. 45–56.

Приложение А Разновидности вскрышных пород по основным агрохимическим и физико-химическим показателям для горно-таежной подзоны Кузбасса

Таблица А 1 – Разновидности вскрышных пород по основным агрохимическим показателям для горно-таежной подзоны Кузбасса

Месторождение	Горизонт/ глубина отбора проб	Органический углерод, %	Азот общий (N), %	Подвижный фосфор (P ₂ O ₅), мг/кг	Подвижный калий (K ₂ O), мг/кг
Группа пригодности для создания техноземов – пригодные (ППП – четвертичные отложения I категории)					
Четвертичные отложения (покровные суглинки)					
Распадское месторождение (четвертичные отложения)	до 0,7 м от земной поверхности	1,3 – 1,6	0,15 – 0,19	146,0 – 411,0	213 – 235
Группа пригодности для создания техноземов – пригодные (ППП – четвертичные отложения I категории)					
Четвертичные отложения (покровные суглинки)					
Алардинское месторождение (четвертичные отложения)	до 2 м от земной поверхности	1,0 – 1,4	0,08 – 0,11	141,0 – 160,0	125 – 142
Группа пригодности для создания техноземов – пригодные (ППП - четвертичные отложения II категории)					
Целесообразно использовать при дефиците пригодных вскрышных пород (четвертичные отложения II категории)					
Четвертичные отложения (смесь суглинков с включением слабоокатанной гальки, щебня коренных пород и выветрелого песчаника)					
Распадское месторождение (четвертичные отложения)	до 3 – 5 м	0,8 – 1,5	0,14 – 0,16	88,4 – 124,0	132 – 229
Связные сцементированные и несцементированные осадочные породы, группа пригодности для создания техноземов – малопригодные и непригодные					
Переслаивание песчаника и алевролита					
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+200	2,6 – 3,1	0,12 – 0,19	41,2 – 46,1	237 – 285

Продолжение таблицы А 1

Песчаник					
Алардинское месторождение (отложения балахонской серии пермского возраста)	+320	3,7 – 3,8	0,05 – 0,07	<12,5	129 – 144
Алевролит					
Алардинское месторождение (отложения балахонской серии пермского возраста)	+300	1,7 – 2,6	0,13 – 0,15	41,4 – 46,7	244 – 248
Аргиллит карбонатно-глинистый с примесью углистого вещества					
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+100	4,8 – 5,4	0,14 – 0,16	48,6 – 51,5	279 – 294

Таблица А 2 – Разновидности вскрышных пород по основным физико-химическим показателям для горно-таежной подзоны Кузбасса

Месторождение	Горизонт/ глубина отбора проб	Средняя плотность (среднее значение), г/см ³	Минеральный состав (содержание глинистых минералов), %	Доля фракций диаметром (мм), <0,01%/ доля фракций диаметром (мм), <1%	Ёмкость катионного обмена, мг-экв/100 г	рН водный	Общая сумма растворимых в воде веществ (сухой остаток), %
Группа пригодности для создания техноземов – пригодные (ППП – четвертичные отложения I категории)							
Четвертичные отложения (покровные суглинки)							
Распадское месторождение (четвертичные отложения)	до 0,7 м от земной поверхности	1,71	гидромусковит – 28 смешаннослойные гидрослюда- монтмориллонит – 10 хлорит – 8	51,0 – 68,0/ 100	24,0 – 27,0	6,9 – 7,1	0,07
Группа пригодности для создания техноземов – пригодные (ППП – четвертичные отложения I категории)							
Четвертичные отложения (покровные суглинки)							
Алардинское месторождение (четвертичные отложения)	до 2 м от земной поверхности	1,77	гидрослюда – 28 монтмориллонит – 10	44,0 – 57,0/ 100	23,0 – 28,0	6,7 – 7,1	0,03
Группа пригодности для создания техноземов – пригодные (ППП – четвертичные отложения II категории)							
Целесообразно использовать при дефиците пригодных вскрышных пород (четвертичные отложения II категории)							
Четвертичные отложения (смесь суглинков с включением слабоокатанной гальки, щебня коренных пород и выветрелого песчаника)							
Распадское месторождение (четвертичные отложения)	от 3 до 5 м от земной поверхности	1,94	гидромусковит – 28 смешаннослойные гидрослюда- монтмориллонит – 16 хлорит – 10	34,0 – 36,0/ не менее 50,0	21,0 – 23,0	6,8 – 7,2	0,04

Продолжение таблицы А 2

Связные сцементированные и несцементированные осадочные породы, группа пригодности для создания техноземов – малопригодные и непригодные							
Породы, при улучшении физических свойств которых (буровзрывные работы; перемещение и складирование) можно использовать на техническом этапе рекультивации для заполнения выработанного пространства и формирования устойчивого рельефа отвалов; для формирования верхнего, корнеобитаемого слоя – в смеси с четвертичными отложениями I и II категорий							
Песчаник							
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+500	2,41	Гидромусковит – 18 смешаннослойные гидрослюда-монтмориллонит – 7 (минералы в виде цемента)	–	5,2 – 6,1	6,8 – 7,1	0,08
Песчаник							
Алардинское месторождение (отложения балахонской серии пермского возраста)	+375	2,38	Гидрослюда и хлорит – 29 (минералы в виде цемента)	–	5,1 – 6,5	6,7 – 6,8	0,07
Алеврит							
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+400	2,44	Не определен	–	5,1 – 7,0	8,5 – 8,7	0,09
Алеврит							
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+450	2,39	Не определен	–	5,3 – 6,8	8,3 – 8,6	0,08

Продолжение таблицы А 2

Переслаивание песчаника и алевролита							
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+300	2,60	Не определен	—	4,2 – 5,6	8,2 – 8,4	0,09
Переслаивание песчаника и алевролита							
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+200	2,61	Гидролюда и хлорит – 28 (минералы в виде цемента)	—	4,2 – 5,5	8,7 – 9,1	0,10
Песчаник							
Алардинское месторождение (отложения балахонской серии пермского возраста)	+320	2,47	не определен	—	4,1 – 7,1	8,2 – 8,7	0,08
Алевролит							
Алардинское месторождение (отложения балахонской серии пермского возраста)	+300	2,60	не определен	—	4,8 – 6,1	8,2 – 8,5	0,09
Аргиллит карбонатно-глинистый с примесью углистого вещества							
Распадское месторождение (отложения кольчугинской серии пермского возраста)	+100	2,67	Гидролюда и хлорит – 34	—	12,8 – 14,0	8,6 – 8,9	0,10

Таблица А 3 – Элементный состав вскрышных пород (массовая доля элементов, %)

Месторождение	Горизонт / глубина	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	S
Четверичные отложения (покровные суглинки)										
Распадское месторождение	до 0,7 м от земной поверхности	64,31	6,55	13,07	1,18	1,81	0,98	1,75	0,12	0,011
Четвертичные отложения (суглинки с включением слабоокатанной гальки и щебня коренных пород)										
Распадское месторождение	до 3 – 5 м от дневной поверхности	65,51	7,15	13,34	0,84	1,11	0,79	1,92	0,10	0,016
Четверичные отложения (покровные суглинки)										
Алардинское месторождение	до 2 м от дневной поверхности	65,41	8,77	13,20	1,45	1,79	0,95	1,80	0,13	0,012
Песчаник										
Распадское месторождение	+500	85,92	1,46	9,80	0,34	0,19	0,95	1,00	0,040	0,007
Песчаник										
Алардинское месторождение	+375	71,77	5,63	12,89	0,46	0,20	1,25	2,12	0,096	0,008
Переслаивание песчаника и алевролита										
Распадское месторождение	+300	67,83	7,09	13,09	0,70	1,29	1,08	2,07	0,088	0,021
Переслаивание песчаника и алевролита										
Распадское месторождение	+200	67,87	4,48	14,14	1,81	1,16	1,08	2,26	0,072	0,017
Песчаник										
Алардинское месторождение	+190	63,33	5,66	10,32	9,62	3,07	1,32	1,30	0,071	0,009
Алевролит										
Алардинское месторождение	+155	72,73	1,46	15,77	0,40	0,42	1,00	3,00	0,004	0,015
Аргиллит карбонатно-глинистый с примесью углистого вещества										
Распадское месторождение	+100	59,94	10,97	13,16	2,61	1,48	0,94	2,12	0,21	0,017

**Приложение Б Фракционный состав крупнозема и
гранулометрический состав почв на мониторинговых площадках в 2023
г.**

Таблица Б 1 – Фракционный состав крупнозема на мониторинговых площадках, 2023 г.

№ точки	Глубина, см	Доля фракций диаметром (мм), %					Физ. глина *, %
		>10	10 – 5	5 – 3	3 – 1	<1	
1 технозем литогенный	0 – 5	22 – 30	12 – 15	12 – 17	14 – 24	24 – 30	8,23 – 10,46
		26	14	14	19	27	9,13
	5 – 10	16 – 42	12 – 21	12 – 19	11 – 27	14 – 29	4,51 – 9,62
		30	15	15	18	22	7,72
	10 – 20	30 – 46	15 – 20	12 – 16	11 – 18	12 – 18	3,68 – 6,57
		39	18	14	15	14	4,83
2 технозем литогенный	0 – 5	28 – 45	10 – 20	8 – 17	11 – 16	18 – 30	6,96 – 10,83
		34	14	14	13	25	8,93
	5 – 10	33 – 53	10 – 16	11 – 15	11 – 15	13 – 28	4,38 – 9,85
		40	13	13	13	21	7,40
	10 – 20	44 – 46	8 – 16	10 – 13	13 – 18	12 – 22	3,58 – 7,56
		45	13	11	15	16	6,18
3 технозем литогенный	0 – 5	18 – 33	10 – 15	13 – 17	15 – 24	26 – 30	9,63 – 10,88
		26	12	15	19	28	10,16
	5 – 10	16 – 46	8 – 21	10 – 19	11 – 27	14 – 31	4,58 – 12,68
		35	15	15	17	23	8,36
	10 – 20	26 – 46	11 – 20	12 – 16	11 – 19	13 – 27	4,14 – 7,11
		35	16	14	16	19	5,75
4 технозем литогенный	0 – 5	28 – 33	10 – 12	12 – 17	13 – 17	25 – 34	6,5 – 7,91
		30	11	15	15	29	7,32
	5 – 10	33 – 35	12 – 16	14 – 15	12 – 20	23 – 30	6,46 – 7,02
		34	13	15	16	26	6,72
	10 – 20	40 – 44	12 – 16	10 – 16	12 – 18	12 – 20	2,84 – 4,76
		43	14	13	16	14	3,7
5 технозем литогенный	0 – 5	9 – 49	7 – 15	10 – 17	13 – 25	15 – 42	4,94 – 12,98
		25	12	15	19	29	9
	5 – 10	8 – 42	10 – 21	12 – 15	11 – 27	14 – 41	4,77 – 13,49
		29	16	14	17	24	8,12
	10 – 20	8 – 46	2 – 19	5 – 17	11 – 30	13 – 55	4,34 – 24,46
		26	13	11	19	31	11,94

Продолжение таблицы Б 1

№ точки	Глубина , см	Доля фракций диаметром (мм), %					Физ. глина *, %
		>10	10 – 5	5 – 3	3 – 1	<1	
6 технозем литогенный	0 – 5	11 – 32	5 – 9	9 – 11	19 – 34	32 – 43	11,85 – 16,01
		18	7	10	27	38	14,25
	5 – 10	15 – 45	5 – 7	9 – 10	14 – 32	26 – 44	7,61 – 19,4
		25	6	9	24	36	13,74
	10 – 20	17 – 26	3 – 10	8 – 15	24 – 27	25 – 40	9,6 – 18,06
		22	7	12	26	33	12,44
7 технозем литогенный	0 – 5	26 – 32	13 – 20	16 – 17	12 – 22	17 – 27	3,82 – 9,1
		29	17	16	17	21	6,21
	5 – 10	33 – 53	9 – 15	11 – 15	11 – 14	13 – 25	3,66 – 8,55
		42	12	14	12	20	6,81
	10 – 20	28 – 46	14 – 16	13 – 14	13 – 19	12 – 27	3,65 – 10,46
		36	15	14	16	19	6,76
8 технозем литогенный	0 – 5	10 – 33	7 – 10	13 – 15	15 – 25	28 – 44	9,36 – 14,55
		24	9	14	19	34	11,44
	5 – 10	31 – 46	8 – 14	10 – 15	11 – 14	21 – 26	5,82 – 7,76
		40	11	13	13	23	7,04
	10 – 20	22 – 45	10 – 12	8 – 16	11 – 27	24 – 27	5,99 – 7,49
		31	11	13	19	26	6,6
9 технозем гумусогенный	0 – 5	6 – 23	3 – 5	6 – 12	30 – 35	34 – 50	9,65 – 19,35
		13	4	9	33	41	14,57
	5 – 10	8 – 18	2 – 5	4 – 16	23 – 32	37 – 50	14,96 – 23,19
		13	4	11	28	44	19,47
	10 – 20	9 – 16	5 – 11	16 – 19	30 – 31	26 – 39	12,49 – 15,5
		13	7	17	31	32	14,04
10 эмбриозем инициальный	0 – 5	52 – 58	24 – 28	8 – 10	5 – 6	4 – 6	0,63 – 1,1
		55	25	9	6	5	0,85
	5 – 10	67 – 73	12 – 15	5 – 7	3 – 6	3 – 7	0,53 – 1,24
		70	14	6	5	5	0,98
	10-20	66 – 87	7 – 18	3 – 7	2 – 5	1 – 4	0,16 – 0,95
		77	11	5	4	3	0,66

* содержание физической глины на весь объем образца

Таблица Б 2 – Гранулометрический состав участков рекультивации, 2023 г.

Глубина, см	Доля фракций диаметром (мм), %							
	1 – 0,25 Крупный песок	0,25 – 0,05 Мелкий песок	0,05 – 0,01 Пыль крупная	0,01 – 0,005 Пыль средняя	0,005 – 0,001 Пыль мелкая	<0,001 ил	Физ. песок, %	Физ. глина, %
Участок 1 – ТЛ								
0 – 5	14,34 – 21,2	13,84 – 25,9	18,02 – 40,15	11,66 – 13,99	15,57 – 16,06	4,3 – 7,1	63,7 – 68,33	31,67 – 36,3
	17,45	20,40	27,87	12,93	15,78	5,57	65,72	34,28
5 – 10	14,46 – 21,47	14,09 – 23,71	22,11 – 39,27	11,25 – 12,72	15,44 – 16,58	4,23 – 6,81	63,89 – 67,82	32,18 – 36,11
	18,5	19,37	28,31	12,16	16,14	5,52	66,18	33,82
10 – 20	14,55 – 25,03	14,35 – 17,41	21,04 – 38,4	5,55 – 13,74	15,29 – 17,6	3,69 – 7,88	63,49 – 69,35	30,65 – 36,51
	19,34	16,21	31,16	10,39	16,55	6,35	66,71	33,29
Участок 2 – ТЛ								
0 – 5	11,04 – 19,66	10,38 – 24,76	28,11 – 34,26	8,67 – 14,85	16,51 – 19,36	5,79 – 8,06	62,85 – 64,3	35,7 – 37,15
	15,52	16,53	31,64	11,38	17,78	7,15	63,69	36,31
5 – 10	17,68 – 20,71	14,56 – 18,31	30,04 – 31,35	10,24 – 14,09	15,01 – 16,91	4,62 – 8,66	64,81 – 66,28	33,72 – 35,19
	18,75	16,15	30,55	11,65	15,77	7,11	65,45	34,53
10 – 20	16,54 – 38,07	10,29 – 19,78	18,79 – 31,38	9,68 – 17,38	11,24 – 16,42	3,51 – 8,27	65,64 – 70,14	29,86 – 34,36
	24,63	16,51	26,5	13,49	13,53	5,34	67,64	32,36
Участок 3 – ТЛ								
0 – 5	13,56 – 17,08	4,95 – 18,35	33,41 – 40,95	11,41 – 15,12	7,04 – 16,86	5,05 – 16,77	61,13 – 66,76	33,24 – 38,87
	15,21	10,75	37,66	13,86	13,18	9,34	63,62	36,38
5 – 10	10,75 – 21,43	12,76 – 20,31	30,33 – 33,7	11,95 – 17,59	9,85 – 18,65	4,66 – 11,07	59,1 – 67,28	32,72 – 40,9
	16,09	15,91	31,63	14,7	14,46	7,21	63,63	36,37
10 – 20	15,55 – 31,81	5,29 – 20,71	30,6 – 39,68	8,03 – 16,54	11,39 – 15,97	2,77 – 6,97	60,52 – 77,81	22,19 – 39,48
	21,42	13,37	34,05	12,49	13,66	5,01	68,84	31,16
Участок 4 – ТЛ								
0 – 5	24,38 – 30,17	19,07 – 22,46	25,12 – 30,17	9,35 – 11,61	10,49 – 12,82	0,41 – 4,28	73,62 – 77,75	22,25 – 26,38
	27,34	20,27	27,51	10,50	11,54	2,84	75,12	24,88
5 – 10	23,89 – 30,51	20,56 – 22,22	20,88 – 27,47	10,09 – 11,37	9,81 – 11,97	2,43 – 7,38	71,92 – 76,59	23,41 – 28,08
	27,83	21,29	24,45	10,69	10,89	4,85	73,57	26,43
10 – 20	23,45 – 31,22	20,76 – 21,85	23,29 – 26	7,28 – 11,49	10,46 – 12,72	2,35 – 5,9	70,81 – 76,36	23,64 – 29,19
	28,57	21,33	24,55	9,17	11,82	4,56	74,45	25,55

Продолжение таблицы Б 2

Участок 5– ТЛ								
0 – 5	18,08 – 27,09	6,52 – 17,78	24,82 – 44,5	13,02 – 13,49	13,49 – 15,39	2,5 – 5,47	67,07 – 69,68	30,32 – 32,93
	22,91	13,49	32,21	13,27	14,35	3,77	68,61	31,39
5 – 10	3,03 – 26,99	2,01 – 12,42	26,95 – 62,04	13,06 – 15,91	13,25 – 16,05	4,11 – 4,91	65,94 – 67,09	32,91 – 34,06
	18,22	8,81	39,34	14,66	14,36	4,61	66,37	33,63
10 – 20	2,84 – 29,61	0,32 – 22	23,35 – 52,37	9,86 – 18,02	13,06 – 20,56	3,29 – 6,49	55,53 – 69,54	30,46 – 44,47
	18,88	11,92	33,09	14,00	16,89	5,22	63,89	36,11
Участок 6– ТЛ								
0 – 5	2,37 – 20,81	3,37 – 15,59	28,43 – 57,22	8,68 – 11,48	19,58 – 21,26	5,98 – 7,75	60,85 – 62,96	37,04 – 39,15
	13,98	9,14	39,07	10,27	20,53	7,01	62,19	37,81
5 – 10	10,44 – 24,17	3,24 – 8,07	28,32 – 57,06	11,57 – 14,5	13,07 – 19,38	3,73 – 12,65	55,92 – 70,74	29,26 – 44,08
	18,52	5,73	38,15	12,84	15,89	8,87	62,4	37,6
10 – 20	21,32 – 22,87	2,18 – 9,87	22,13 – 44,06	8,37 – 15,74	16,01 – 20,2	4 – 10,46	54,86 – 71,62	28,38 – 45,14
	22,35	5,58	34,76	12,86	17,6	6,85	62,69	37,31
Участок 7– ТЛ								
0 – 5	24,28 – 38,5	3,55 – 18,23	20,51 – 35,49	3,26 – 9,1	12,78 – 17,21	6,43 – 7,83	66,31 – 77,54	22,46 – 33,69
	30,79	12,15	27,78	6,34	15,65	7,29	70,72	29,28
5 – 10	25,9 – 36,25	6,06 – 22,61	13,02 – 31,95	7,96 – 12,45	11,1 – 17,79	4,57 – 9,96	64,3 – 71,88	28,12 – 35,7
	29,48	15,18	22,67	10,75	14,82	7,1	67,33	32,67
10 – 20	26,45 – 27,71	14,7 – 24,06	10,11 – 22,55	10,25 – 10,37	5,27 – 17,41	8,52 – 14,86	61,26 – 69,62	30,38 – 38,74
	27,08	19,77	18,01	10,3	12,98	11,86	64,86	35,14
Участок 8– ТЛ								
0 – 5	18,42 – 22,77	5,43 – 19,34	24,88 – 43,07	11,98 – 14,09	14,89 – 16,39	4,55 – 5,3	66,47 – 66,92	33,08 – 33,53
	21,15	13,3	32,21	12,71	15,66	4,97	66,66	33,34
5 – 10	23,1 – 24,5	9,52 – 12,28	29,4 – 39,75	2,85 – 14,3	11,4 – 17,21	5,7 – 8,91	63,03 – 73,57	26,43 – 36,97
	23,96	10,78	34,47	8,82	14,72	7,25	69,21	30,79
10 – 20	24,09 – 34,1	9,1 – 19,5	23,81 – 42,21	4,23 – 20,35	2,01 – 14,16	3,95 – 8,68	71,19 – 77,82	22,18 – 28,81
	29,52	13,37	31,34	10,18	9,72	5,87	74,23	25,77

Продолжение таблицы Б 2

Участок 9– ТГН								
0 – 5	$\frac{12,29 - 24,21}{16,69}$	$\frac{7,8 - 15,98}{12,78}$	$\frac{31,77 - 42,18}{35,59}$	$\frac{8,07 - 14,7}{11,94}$	$\frac{16,38 - 17,67}{16,91}$	$\frac{3,95 - 7,99}{6,09}$	$\frac{61,31 - 71,6}{65,06}$	$\frac{28,4 - 38,69}{34,94}$
5 – 10	$\frac{13,9 - 21,97}{17,00}$	$\frac{9,78 - 19,43}{13,89}$	$\frac{19,05 - 29,59}{25,48}$	$\frac{7,55 - 16,04}{11,23}$	$\frac{19,83 - 22,2}{21,04}$	$\frac{8,18 - 16,63}{11,36}$	$\frac{53,62 - 59,56}{56,37}$	$\frac{40,44 - 46,38}{43,63}$
10 – 20	$\frac{14,17 - 18,02}{16,35}$	$\frac{10,82 - 15,19}{13,26}$	$\frac{19,64 - 32,6}{25,41}$	$\frac{15,13 - 17,4}{15,97}$	$\frac{17,02 - 22,91}{20,43}$	$\frac{7,58 - 9,29}{8,58}$	$\frac{51,96 - 60,26}{55,02}$	$\frac{39,74 - 48,04}{44,98}$
Участок 10– ЭИ								
0 – 5	$\frac{11,96 - 48,64}{34,48}$	$\frac{17,06 - 22,64}{19,43}$	$\frac{17,89 - 49,64}{29,26}$	$\frac{4,68 - 5,93}{5,24}$	$\frac{6,89 - 8,6}{7,74}$	$\frac{2,94 - 4,62}{3,85}$	$\frac{81,67 - 84,24}{83,17}$	$\frac{15,76 - 18,33}{16,83}$
5 – 10	$\frac{31,55 - 45,63}{39}$	$\frac{15,9 - 15,99}{15,94}$	$\frac{20,69 - 35,83}{26,7}$	$\frac{4,84 - 5,26}{5}$	$\frac{8,54 - 10,73}{9,27}$	$\frac{3,2 - 4,7}{4,09}$	$\frac{79,31 - 83,36}{81,64}$	$\frac{16,64 - 20,69}{18,36}$
10 – 20	$\frac{31,54 - 55,48}{42,48}$	$\frac{12,57 - 26,61}{17,69}$	$\frac{15,79 - 23,34}{19,07}$	$\frac{3,26 - 7,79}{6,04}$	$\frac{0,77 - 10,5}{6,93}$	$\frac{5,01 - 12,13}{7,79}$	$\frac{76,21 - 83,84}{79,24}$	$\frac{16,16 - 23,79}{20,76}$

Приложение В Информация о внедрении результатов работы на предприятиях



03.03.2016 № **НСХР/У26-
R990/000/LS**

на № _____ От _____

Ректору СибГИУ

Юрьеву А.Б.

СПРАВКА о внедрении результатов диссертационной работы

Теоретические и методические подходы, разработанные в рамках диссертационной работы И.С. Семиной «Научное обоснование рационального использования природных и техногенных ресурсов для рекультивации земель, нарушенных деятельностью предприятий по добыче и переработке угля (на примере Кемеровской области – Кузбасса), представленной к соисканию степени доктора технических наук по специальности 1.6.21 Геоэкология, были внедрены в процессе реализации научно-исследовательской работы «Создание экологического полигона по отработке технологий рекультивации и оценке перспектив поглощения CO₂ на нарушенных и подработанных землях» на АО «Разрез Распадский».

По результатам диссертационной работы научно обоснованы экологически эффективные технологии рекультивации: состав и строение профиля искусственных почв – техноземов на основе природных и техногенных ресурсов; определена оптимальная мощность рекультивационного, корнеобитаемого слоя; параметры благоприятного рельефа отвалов; видовой состав и схемы посадки растений для выполнения биологического этапа рекультивации земель; использование удобрений.

Разработанные рекомендации по реализации технологий рекультивации земель с использованием собственных ресурсов разреза в экономике замкнутого цикла производства будут использованы при рекультивации нарушенных земель на АО «Разрез Распадский» и других горнодобывающих предприятиях ООО «Распадская угольная компания».

Результаты исследований поглощения углерода из атмосферы растениями на экспериментальных площадках экологического полигона станут основой для реализации возможных климатических проектов.

Заместитель генерального директора-
директор по ОТПБиЭ

А.Е. Червяков

Общество с ограниченной ответственностью «Распадская угольная компания»
пр. Курако, д. 33, г. Новокузнецк, Кемеровская область – Кузбасс, Россия, 654006
тел. (3843) 99-71-13, факс (3843) 99-73-77, e-mail info_ruk@yandex.com
ОГРН 1154253003750, ОКПО 26835687, ИНН ЛКПТ 4253029857/425301001 www.raspadskaya.com



**Акционерное общество
«Разрез «Степановский»**



654033, Российская Федерация, Кемеровская область-Кузбасс,
м.о. Новокузнецкий, тер. Красинск, зд. 1.
ОГРН 1174205027259 от 07.11.2017г., ИНН 4223120108, КПП 421401001
Тел./факс 8 (3843) 991-641, e-mail: stepan.info@rstecom.ru

**Председателю экспертного совета НИТУ
МИСИС по специальности 1.6.21
Геоэкология**

Коликову К.С.

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационной работы

Предложенные технологии и рекомендации по рекультивации земель, разработанные на основе многолетних, комплексных исследований в рамках диссертационной работы И.С. Семиной «Научное обоснование рационального использования природных и техногенных ресурсов для рекультивации земель, нарушенных деятельностью предприятий по добыче и переработке угля (на примере Кемеровской области – Кузбасса), представленной к соисканию степени доктора технических наук по специальности 1.6.21 Геоэкология, планируются использоваться при разработке проектной документации для рекультивации нарушенных земель

По результатам диссертационной работы предложены и научно обоснованы рекомендации по рациональному использованию природных и собственных техногенных ресурсов в экономике замкнутого цикла предприятия. Представлены способы отвалообразования, позволяющие совмещать процесс отвалообразования и биологическую рекультивацию. Предложенная геоэкологическая схема предпроектного анализа и оценки природных ресурсов для рекультивации земель позволяет до разработки проектной документации провести исследования и оценку имеющихся ресурсов и выбрать наиболее экологически и экономически обоснованные технологии рекультивации нарушенных земель для условий предприятия.

Разработанные рекомендации в диссертационной работе будут использованы при разработке проектной документации для рекультивации нарушенных земель на АО «Разрез «Степановский»

Главный инженер

Должность

Климкин М.А.

Ф.И.О.