

# СОПРЯЖЕННЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ, ГЕОБОТАНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ УГЛЕБОГАЩЕНИЯ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

И.С. Семина<sup>1</sup>, В.А. Андроханов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сибирский государственный индустриальный университет,  
Новокузнецк, Россия, e-mail: semina.i@mail.ru

<sup>2</sup> Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения РАН, Новосибирск, Россия

**Аннотация:** Проведены комплексные многолетние исследования, направленные на получение актуальной информации о процессах восстановления и функционирования молодых почв (техноземов – с искусственно сформированным корнеобитаемым горизонтом при рекультивации, и эмбриоземов – молодых почв, саморазвивающихся на техногенных отложениях), а также растительного покрова на участках размещения отходов углеобогащения. Результаты комплексного исследования функционирования техноземов и эмбриоземов, сформированных на отходах углеобогащения, позволяют сделать вывод о том, что данные отходы возможно рассматривать в качестве ресурса рекультивации и экологически безопасно использовать только на техническом этапе рекультивации нарушенных земель для закладки выработанного пространства карьерных выемок с целью создания устойчивого рельефа, основы для создания на их поверхности молодых почв. Поверхность отходов углеобогащения необходимо изолировать инертными материалами для предотвращения их попадания в окружающую среду, а для формирования корнеобитаемого слоя – использовать плодородные или потенциально плодородные породы (природные ресурсы), которые будут также способствовать снижению негативных последствий использования отходов и формированию растительного покрова на поверхности молодых почв. Полученные научные данные позволили разработать предложения по рациональному и экологически безопасному использованию отходов углеобогащения в рекультивации нарушенных земель.

**Ключевые слова:** рекультивация, литогенные ресурсы рекультивации, отходы углеобогащения, техноземы, эмбриоземы, растения.

**Для цитирования:** Семина И. С., Андроханов В. А. Сопряженный анализ результатов почвенно-экологических, геоботанических исследований и оценка возможности использования отходов углеобогащения для рекультивации нарушенных земель // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 1. – С. 20–33. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2025\_1\_0\_20.

---

## Joint analysis of soil ecology and geobotany research findings and applicability of coal preparation waste in disturbed land reclamation

I.S. Semina<sup>1</sup>, V.A. Androkhanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia, e-mail: semina.i@mail.ru

<sup>2</sup> Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

---

**Abstract:** The implemented long-term research was aimed to obtain relevant information on functioning and recovery of young soil (manmade techno-soil with artificial root area layer created during reclamation and embryo-soil self-developing on manmade formations) and vegetation cover areas at placements of coal preparation waste. The integrated studies of functioning of techno-soil and embryo-soil generated above coal preparation waste allow concluding that coal preparation waste can be adopted as a reclamation resource and can be environmentally safely used only at the technical stage of disturbed land reclamation, when filling mined-out voids of open pits with a view to creating stable land forms for generating young soils above them. The surface of coal preparation waste should be sealed using inert materials to prevent their entry in the environment. Formation of a root area layer should use fertile or potentially fertile soils (natural resources) which also can promote reduction in the adverse after-effects of the waste use and can facilitate formation of vegetation cover above the young soil. The research findings made it possible to offer proposals on eco-friendly and efficient use of coal preparation waste in disturbed land reclamation.

**Key words:** reclamation, lithogenous resources of reclamation, coal preparation waste, techno-soil, embryo-soil, vegetation.

**For citation:** Semina I. S., Androkhanov V. A. Joint analysis of soil ecology and geobotany research findings and applicability of coal preparation waste in disturbed land reclamation. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(1):20-33. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2025\_1\_0\_20.

---

### Введение

Многочисленные исследования показывают, что отходы горнопромышленного комплекса оказывают существенное влияние на окружающую среду, в том числе на почвенный и растительный покров [1 – 4]. Такие нарушенные участки кардинальным образом отличаются от естественных ландшафтов, и для восстановления разрушенных экосистем необходимо осуществлять работы по рекультивации нарушенных земель [5 – 7]. Следует отметить, что на скорость процесса восстановления растительного и почвенного покрова влияют условия, созданные на технологическом этапе рекультивации, а именно качество вскрыш-

ных пород, используемых для формирования верхнего корнеобитаемого слоя [8 – 10]. С целью оценки состояния нарушенных ландшафтов используется понятие «почвенно-экологическое состояние» (далее – ПЭС) [11].

Результаты исследований показывают, что активное восстановление растительности на отвалах зависит от наличия плодородности вскрышных и вмещающих пород [12, 13].

Также для повышения качества рекультивированных территорий целесообразно создавать почвоподобные образования (техноземы) с плодородным слоем почвы с целью улучшения корневого питания растений.

Однако следует учитывать валовое содержание токсичных элементов в технозомах (в корневой зоне) в надземной и подземной биомассе [14]. Повысить результаты рекультивации на склонах отвалов можно за счет выполнения террасирования склонов и высаживания на террасах таких культур, как береза повислая (*Betula pendula* Roth), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L) [15], также ускорить процесс восстановления растительного покрова можно нанесением на поверхность почвогрунтов или осадков сточных вод [16]. Кроме того, оценить экологическую эффективность выполненной рекультивации можно за счет роста аборигенных лесных культур, высаженных на разных рекультивированных участках. Установлено, что pH почвы является важным фактором, влияющим на рост древесных растений. Уменьшение кислотности почвы улучшает рост растений, также наклонная поверхность рельефа способствует уменьшению застойного эффекта воды [17].

В данной работе на основе многолетних комплексных исследований процессов восстановления растительного и почвенного покрова на экспериментальном материале показано проявление



Рис. 1. Точка 1 (участок № 1), эмбриозем инициальный

Fig. 1. Point 1 (site No. 1), embryozyme initialis

элементарных почвенных процессов — дернового и гумусово-аккумулятивного — на рекультивированных почвах, сформированных по разным технологиям (формирование корнеобитаемого слоя из потенциально плодородной породы (далее — ППП) и плодородного слоя почвы (далее — ПСП)), размещенных на отходах углеобогащения. Полученные научные данные позволили разработать предложения по рациональному и экологически безопасному использованию отходов углеобогащения в рекультивации нарушенных земель.

Цель работы: выполнить сопряженный анализ результатов почвенно-экологических, геоботанических исследований и разработать предложения по рациональному и экологически безопасному использованию отходов углеобогащения в рекультивации нарушенных земель.

#### Объекты и методы исследований

В качестве объектов исследования выбраны разновозрастные участки рекультивации (внутренние отвалы бывшего карьера на территории г. Ленинска-Кузнецкого Кемеровской области — Кузбасса).

На техническом этапе рекультивации данные отвалы были заполнены отходами углеобогащения. Участки различаются технологией формирования верхнего корнеобитаемого слоя. Для определения типа молодых почв использовалась профильно-генетическая классификация почв техногенных ландшафтов, разработанная в ИПА СО РАН [18].

Точка 1. Участок на отходах углеобогащения (верхний корнеобитаемый слой представлен отходами углеобогащения) — эмбриозем инициальный, возраст участка — 9 лет (рис. 1).

Точка 2. Верхний, корнеобитаемый слой участка сформирован путем нанесения на поверхность ППП (гранулометрический состав — легкий суглинок и



Рис. 2. Точка 2 (участок № 2), технозем литогенный

Fig. 2 Point 2 (site No. 2), lithogenic technozem



Рис. 3. Точка 3 (участок № 3), технозем недифференцированный гумусогенный

Fig. 3. Point 3 (site No. 3), technozem undifferentiated humusogenic

супесь) — технозем литогенный, возраст участка — 4 года (рис. 2).

Точка 3. Верхний, корнеобитаемый слой участка сформирован путем нанесения на поверхность смеси ППП (карбонатных суглинков) и ПСП — технозем недифференцированный гумусогенный, возраст участка — 9 лет (рис. 3).

Точка 4. Верхний, корнеобитаемый слой участка сформирован путем нанесения на поверхность ПСП с примесью ППП — технозем недифференцированный гумусогенный, возраст участка — 9 лет (рис. 4).

Точка 5. Верхний, корнеобитаемый слой участка сформирован путем нанесения на поверхность ППП, представленных карбонатными суглинками, и последующим послойным перекрытием их



Рис. 4. Точка 4 (участок № 4), технозем недифференцированный гумусогенный

Fig. 4. Point 4 (site No. 4), technozem undifferentiated humusogenic



Рис. 5. Точка 5 (участок № 5), технозем дифференцированный гумусогенный

Fig. 5. Point 5 (site No. 5), technozem differentiated humusogenic



Рис. 6. Точка 6 (участок № 6), чернозем выщелоченный

Fig. 6. Point 6 (site No. 6), leached black soil



ПСП (рис. 5) — технозем дифференцированный гумусогенный. Возраст участка — более 10 лет.

В качестве эталонного участка выбран естественный участок с зональной почвой — черноземом выщелоченным (рис. 6).

Для изучения свойств молодых почв (эмбриоземов и техноземов) использовались стандартные лабораторные методы: содержание органического углерода в почвах определялось методом мокрого сжигания по Тюрину (ГОСТ 26213-91); для определения подвижных соединений фосфора и калия применялся метод Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204-91); емкость катионного обмена определялась методом Бобко-Аскинази в модификации ЦИНАО (ГОСТ 17.4.4.01-84); физические свойства устанавливались общепринятыми методами: (плотность сложения почвы — буром Качинского, плотность твердой фазы почвы — пикнометрическим методом, влажность почвы измерялась термовесовым методом [19—21]; гранулометрический состав техногенных почв — пипеточным методом с диспергацией пирофосфатом натрия по Робинсону-Кону; геоботаническое описание осуществлено маршрутным методом, путем геоботанических описаний на пяти пробных площадках.

### **Результаты и обсуждение**

Техноземы, сформированные путем отсыпки ППП и ПСП на спланированную поверхность углеотходов, характеризуются специфическим строением профиля с наличием резкой границы между отсыпанным корнеобитаемым слоем и подстилающим слоем, состоящим из отходов углеобогащения. На молодых почвах достаточно успешно произрастает разнообразная, многовидовая растительность, хотя в связи с малой мощностью отсыпки корнеобитаемого слоя

(20—30 см) наблюдаются признаки дефицита увлажнения, что может приводить к угнетению растений, особенно в засушливые периоды.

Проведенные исследования показывают, что в результате малой мощности отсыпанного слоя ПСП или ППП и незначительным временем развития молодых почв основные почвообразовательные процессы наиболее активно происходят только в корнеобитаемом слое и направлены на преобразование почвенного профиля. В этом слое в основном фиксируются процессы гумусонакопления и формирования почвенной структуры, что проявляется в повышенном содержании органического вещества в верхних слоях техноземов и в снижении плотности сложения (таблица).

Выполнение рекультивации методом отсыпки плодородного слоя почвы (в смешанном и послыном виде) на поверхность пород позволяет создавать благоприятные условия для развития растительности и формировать устойчивый фитоценоз, что, в общем, способствует восстановлению функции молодых почв и экосистем на рекультивированных участках. Однако, как показали результаты морфологических описаний молодых почв, наличие резкой границы между отсыпанным корнеобитаемым слоем и подстилающими породами является негативным признаком и препятствует более глубокому биологическому освоению профиля.

Одним из первых морфологических признаков преобразования почвенного профиля является формирование подстилки и дернового горизонта. Развитие травянистого растительного покрова приводит к образованию биомассы, которая не утилизируется и откладывается на поверхности почвы. Таким образом, изменяются температурные условия и режим увлажнения. В дальнейшем активное развитие корневых систем травянистой

растительности формирует дерновый горизонт и способствует разуплотнению верхней части профиля и накоплению органических веществ в почве.

Эти процессы наиболее выражены в техноземе гумусогенном недифференцированном (точка 4) и техноземе гумусогенном дифференцированном (точка 5). Развитию почвенных процессов на данных участках способствует травянистая разнотравная растительная группировка, созданная в рамках проведения биологического этапа рекультивации.

Из агрофизических показателей в технозомах (точки 4 и 5) фиксируется постепенное увеличение плотности от дернового горизонта к нижележащим слоям отсыпанного слоя. В результате того, что рекультивированные участки все это время не обрабатывались, оптимальная плотность фиксируется только в поверхностных горизонтах ( $1,20 - 1,27 \text{ г/см}^3$ ).

В нижних слоях сохраняются повышенные показатели плотности сложения ( $1,35 - 2,10 \text{ г/см}^3$ ). Наибольшая плотность среди молодых почв наблюдается в техноземе литогенном (точка 2), у которого корнеобитаемый слой отсыпан ППП — легким суглинком, и на поверхности которого не сформировался дерновый горизонт. В эмбриоземе (точка 1), несмотря на некоторое разрыхление самых верхних слоев (2–3 см), плотность значительно выше —  $1,87 \text{ г/см}^3$ , что связано с наличием каменной фракции в материале отходов углеобогащения.

Наибольшая плотность определена в подстилающей породе, ее значения превышают  $2 \text{ г/см}^3$ , что делает этот слой непроницаемым для корней и воды. Высокая плотность пород отходов углеобогащения обусловлена каменностью субстрата.

В верхней части (до 3 см) преобладает фракция мелкозема, а с глубиной каменность возрастает и на глубине 30–40 см превышает 95%.

Содержание органических веществ по профилю техноземов соответствует аккумулятивному характеру распределения гумуса. Максимум фиксируется в дерновом горизонте, в нижних слоях содержание органических веществ немного снижено и соответствует исходному содержанию в плодородном слое почвы, который был использован для формирования корнеобитаемого слоя техноземов. Выполненные анализы показали, что на рекультивированных участках содержание гумусовых веществ изменялось от 2,24% на участке с техноземом литогенным (точка 2) до 8,41% в техноземе гумусогенном (точка 4). Во всех почвах наибольшее количество гумусовых веществ содержалось в верхних, дерновых горизонтах (см. таблицу). Также необходимо отметить высокие показатели содержания углерода в эмбриоземе и в подстилающей породе — от 16,3 до 26,5%. Это связано с наличием углистых частиц в данных материалах. Поэтому пересчет на содержание именно гумусовых веществ в этих образцах не проводился.

Содержание основных элементов питания (N, P, K) в почвах во многом определяется количеством гумусовых веществ, поэтому наиболее благоприятный питательный режим складывается в технозомах гумусогенных недифференцированных (точки 3 и 4) и дифференцированном (точка 5). Однако, как показывают результаты химических анализов, содержание азота и фосфора во всех молодых почвах на участках рекультивации ниже, чем в контрольном варианте. Содержание калия в технозомах с гумусовым горизонтом в поверхностных слоях превышает содержание в контрольном варианте.

Также отмечено повышенное содержание калия в эмбриоземе и в подстилающих породах, что может быть связано с особенностями минералогического

состава отходов углеобогащения. При этом в результате ветровой эрозии мелкие частицы с эмбриоземов, расположенных на прилегающей территории, могли попасть на рекультивированные участки и повысить содержание калия в поверхностных слоях молодых почв. Общее пониженное содержание азота и фосфора может быть во многом обусловлено недостаточным временем функционирования растительного покрова, а также менее благоприятными условиями увлажнения на почвах, что влияет на развитие биологических процессов и ак-

тивность гумусообразования. Наиболее близкими значениями агрохимических свойств характеризуются участки с техноземами (точки 4 и 5). На участке № 3 (точка 3) корнеобитаемый слой отсыпан смесью ПСП и ППП и в растительном покрове преобладают древесные и кустарниковые виды, поэтому содержание гумуса и питательных веществ несколько ниже. Еще меньше питательных веществ содержится в эмбриоземе (точка 1) и техноземе литогенном (точка 2) (таблица). На этих участках малое содержание питательных веществ будет лимити-

**Агрохимические и агрофизические показатели исследуемых молодых почв**  
**Agrochemical and agrophysical indices of investigated young soils**

Тип почвы	Горизонт и глубина, см	C <sub>орг.</sub> , %	Гумус, %	Азот, %	Фосфор, мг/кг	Калий мг/кг	ЕКО	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Содержание частиц < 0,01 мм, %
Т 1. Эмбриозем инициальный	С1 0-8	16,3	—	0,04	29,80	170	14,5	1,56	16,68
	С2 8-20	26,5	—	0,06	4,36	170	13,1	1,87	20,91
Т 2. Технозем литогенный (ППП)	I 0-6	1,30	2,24	0,06	1,63	70	14,5	1,38	23,09
	II 6-12	1,23	2,12	0,04	1,09	65	13,02	1,42	27,62
	D1 12-28	2,61	4,49	0,05	5,39	65	9,18	2,22	20,21
	D2 28-45	9,10	—	0,02	6,54	90	8,71	2,34	28,44
Т 3. Технозем гумусогенный недифференцированный (смесь ППП и ПСП)	A10-10	2,86	4,93	0,32	20,72	130	22,3	1,24	56,00
	II 20-30	2,62	4,51	0,24	11,44	100	23,5	1,38	55,49
	D1 30-40	5,73	—	0,16	8,72	100	17,7	2,06	47,73
	D2 40-50	6,45	—	0,02	0,54	130	14,1	2,10	39,84
Т 4. Технозем гумусогенный недифференцированный (смесь ПСП и ППП)	Ад 0-5	4,88	8,41	0,57	47,03	270	28,4	1,27	57,43
	A15-18	3,70	6,37	0,43	59,62	125	25,5	1,35	56,67
	D1 20-30	20,1	—	0,06	8,54	180	9,13	2,10	49,11
Т 5. Технозем гумусогенный дифференцированный (ПСП и ППП)	Ад 0-11	4,74	8,17	0,38	45,80	185	30,0	1,20	57,68
	II 20-30	1,10	1,89	0,14	1,09	75	19,4	1,39	51,90
	D1 32-50	11,2	—	0,03	3,27	130	11,5	2,03	49,84
Т 6. Чернозем выщелоченный (контроль)	A 5-15	5,88	10,13	0,73	47,42	170	37,2	1,18	57,99
	A 17-28	5,74	9,89	0,50	58,32	100	27,4	1,34	56,62
	AB 28-35	2,47	4,25	0,34	34,86	90	28,5	1,42	52,72
	B 35-50	1,10	1,89	0,18	89,90	65	24,1	1,46	51,08

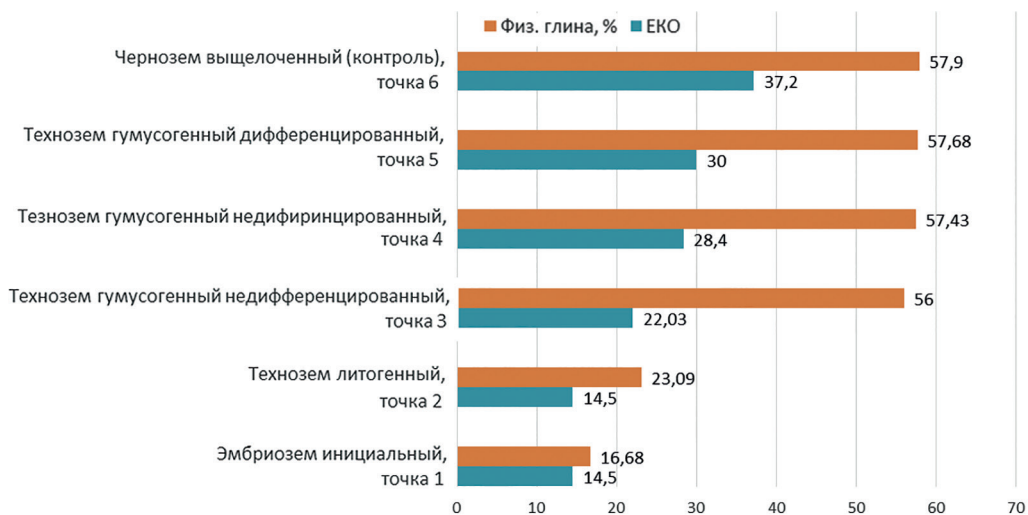


Рис. 7. Значение емкости катионного обмена (ЕКО) и фракции физической глины в мелкоземех техноземов и эмбриозема, в слое 10 см

Fig. 7. Value of cation exchange capacity (CEC) and physical clay fraction in fine soil of technozem and embryozem, in 10 sm layer.

ровать развитие растительного покрова. Это также связано и с малой емкостью катионного обмена и легким гранулометрическим составом почвообразующего материала на этих участках (рис. 7).

Небольшая мощность отсыпки материалов ПСП и ППП и наличие резкой границы в профиле техноземов не позволяют рационально использовать атмосферные осадки для более продуктивного развития фитоценозов.

Результаты лабораторных и полевых исследований гидротермического режима молодых почв, геоботаническое описание растительного покрова на участках, сформированных на отходах углеобогащения, были приведены в [22 – 24].

Таким образом, из результатов исследований следует, что при восстановлении почв выявлены лимитирующие факторы развития почвообразовательных и биологических процессов, которые связаны в первую очередь с недостаточной мощностью отсыпанного, рекультивационного слоя, наличием резкой границы в сформированных почвенных профилях, а также высокой плотностью подстила-

ющих пород, что препятствует накоплению влаги и развитию корневой системы в подстилающих породах.

Полученные научные данные позволили разработать предложения по рациональному и экологически безопасному использованию отходов углеобогащения в рекультивации нарушенных земель.

1. Проведенные исследования показали возможность использования отходов углеобогащения только в рамках проведения технического этапа рекультивации для заполнения внутренних отвалов и создания устойчивого рельефа. В первый год выполнения мероприятий по отсыпке породы углеобогащения в выработанное пространство следует предусмотреть укладку отходов углеобогащения слоями со значительным уплотнением горной техникой (бульдозером) каждого слоя. При 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 проникно-





Рис. 8. Способ рекультивации с использованием отходов углеобогащения (при агрессивной реакции почвенного раствора, pH более 9–10)

Fig. 8. Reclamation method using carbon enrichment waste (with an aggressive reaction of soil solution, pH more than 9–10)

вения корней древесных растений. Отходы углеобогащения обладают запасом микроэлементов, а чрезмерная уплотненность субстрата на технологическом этапе препятствует развитию биохимических процессов и не позволяет использовать микроэлементный потенциал отходов для питания растений.

На спланированную поверхность 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) (рис. 8). При нейтральной реакции почвенного раствора отходов углеобогащения из песчано-гравийного материала смесь на поверхность внутреннего отвала наносить нецелесообразно (рис. 9). Эта прослойка служит барьером, препятствующим поступлению солей из материала отходов углеобогащения в корнеобитаемый

слой, значительно снижая негативное воздействие отходов на корневую систему растений.

На второй год выполнения рекультивационных работ (с целью стабилизации противофильтрационного слоя), после создания устойчивого рельефа и проведения грубой планировки поверхности, следует произвести отсыпку верхнего слоя отвала из потенциально плодородной породы (рыхлые, осадочные четвертичные отложения) и плодородного слоя почвы (при наличии). Мощность отсыпаемого материала зависит от особенностей природно-климатической зоны, а именно от количества осадков и вододерживающей способности материалов, используемых для создания корнеобитаемого слоя. Следует отметить, что объекты исследования находятся в лесостепной зоне Кузбасса, где зональные почвы представлены черноземами вы-

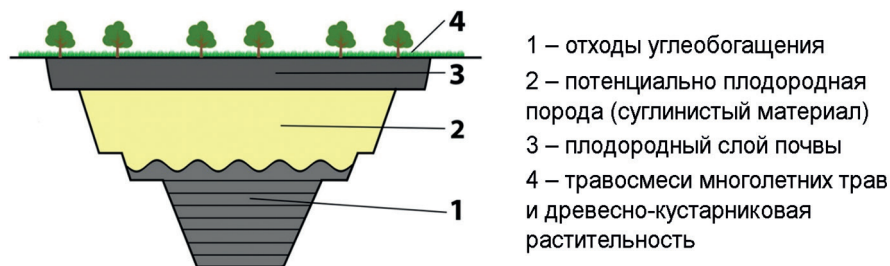


Рис. 9. Способ рекультивации с использованием отходов углеобогащения (при реакции почвенного раствора 6–7):

Fig. 9. Method of reclamation using carbon enrichment waste (in the reaction of a soil solution 6–7)

щелоченными 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 толще 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, что в районе исследования годовое количество осадков составляет 360—400 мм, часто наблюдается дефицит увлажнения.

Запасы влаги в 40-сантиметровом слое в техноземе гумусогенном недифференцированном (точка 4) в период наблюдения составили 59,6 мм и в техноземе гумусогенном дифференцированном (точка 5) — 68,5 мм. Расчеты показывают, что 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 2 м. Наблюдения за молодыми почвами и растительным покровом показали, что 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 35 см, а слой из плодородного слоя почвы — 5—10 см (участок 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).

Рекомендуется предусмотреть проведение биологического этапа рекультивации. Выбор травосмеси следует осуществлять с учетом зональной растительности на основе геоботанического описания. В ходе обследования показано, что при посеве многолетних трав (*Bromopsis inermis* (Leyss.), *Holub* (Кострец безостый) и *Medicago sativa* L. (Люцерна посевная) и др.) или посадке древесно-кустарниковой растительности (*Hippophae rhamnoides* L. (Облепиха крушиновидная) и *Pinus sylvestris* L. (Сосна обыкновенная) и др.) на техногенный субстрат — технозем гумусогенный — создаются благоприятные условия для более интенсивного формирования первичного фитоценоза. 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.

2. Результаты исследований показали, что при смешивании отходов углеобогащения (флотационные отходы «кек» и породы после углеобогащения) в соотношении 1 к 3 и размещении их на территории внутренних отвалов существенных негативных последствий на сформированные молодые почвы и растительный покров не наблюдается. Однако результаты аналитических исследований показали, что в техноземах и эмбриоземах в горизонте D, сложенном отходами углеобогащения, содержание органического углерода варьирует от 5,09 до 21,58%.

При этом содержании происходит увеличение теплообеспеченности территории, в зимний период наблюдается тенденция к увеличению температуры с глубиной. Поэтому отходы флотации «кек» с содержанием органического углерода более 40% с целью рационального использования природных ресурсов и обеспечения экологической безопасности рекомендуется использовать для изготовления водоугольного топлива (ВУТ), водоугольных суспензий или кавитационного водоугольного топлива (КаВУТ).

3. Для принятия решения по использованию отходов углеобогащения в качестве ресурса рекультивации рекомендуется следующая последовательность действий по обследованию и разработке предложений по экологически эффективной и безопасной технологии рекультивации нарушенных земель:

- оценка отходов углеобогащения с целью определения безопасности для окружающей среды (химические, минералогические, петрографические исследования отходов (необходимо уделить особое внимание минералам, которые могут быть источником кислотного загрязнения); исследования элементного состава отходов; учет валовых и подвижных форм токсичных элементов; определение содержания общего углерода);

- образцы отходов углеобогащения необходимо тестировать с разными тест-объектами: определение токсичности с использованием в качестве тест-объекта ракообразных *Daphnia magna* Straus и водорослей *Scenedesmus quadricauda*;

- исследования гидротермического режима почвенного покрова рекультивируемых территорий и зональной растительности, учет метеорологических параметров;

- оценка наличия и пригодности литогенных ресурсов рекультивации (потенциально плодородной породы, плодородного слоя почвы (при наличии),

а также других возможных ресурсов для формирования верхнего слоя на поверхности отвалов с целью создания техноземов: агрохимические и водно-физические исследования, определение элементного состава, в том числе учет валовых и подвижных форм токсичных элементов);

- обследование и определение характеристик техногенных ландшафтов (площадь, рельеф, химические и физические свойства субстрата) техногенного объекта, планируемого к рекультивации [25];

- подбор видового разнообразия на основе геоботанического описания зональной растительности.

4. 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**

Результаты многолетних полевых исследований показали возможность использования отходов углеобогащения только в рамках проведения технического этапа рекультивации для заполнения внутренних отвалов и создания устойчивого рельефа.

Для безопасного и рационального управления отходами углеобогащения рекомендуется на стадии обогащения угля отделять флотационные отходы «кек» от отходов гравитационного обогащения. Вопрос об использовании флотационных отходов «кек» для рекультивации нарушенных земель должен решаться индивидуально, в зависимости от показателей (химических, минералогических, петрографических, валовых и подвижных

форм токсичных элементов; содержания общего и органического углерода, показателей биотестирования с разными тест-объектами), характеризующих безопасность отходов для окружающей среды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брагина П. С. Самовозгорание угольных отвалов в Кемеровской области // Вестник Кузбасской государственной педагогической академии. — 2013. — № 4. — С. 57–64.
2. Журавлева Н. В. Комплексная оценка токсичности промышленных отходов предприятий Кемеровской области // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2006. — № 6-2 (58). — С. 86–89.
3. Исмагилов З. Р., Шикина Н. В., Журавлева Н. В., Потокина Р. Р., Рудина Н. А., Ушаков В. А., Теряева Т. Н. Исследование алюмосиликатных микросфер из золы-уноса электростанций, использующих угли Кузбасса // Химия твердого топлива. — 2015. — № 4. — С. 49.
4. Старожилов В. Т., Дербенцева А. М., Пилипушка В. Н., Крупская Л. Т., Бубнова М. Б. Оценка состояния техногенных ландшафтов для обеспечения их экологической безопасности на примере угольного и горнорудного производства Приморского края // Экология промышленного производства. — 2011. — № 4. — С. 41–45.
5. Чибрик Т. С. Некоторые аспекты оценки опыта биологической рекультивации на угольных месторождениях Урала // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. — 2012. — № 5 (37). — С. 216–218.
6. Чибрик Т. С., Лукина Н. В., Филимонова Е. И., Глазырина М. А. Восстановление биоразнообразия на отвалах Черемшанского никелевого месторождения // Промышленная ботаника. — 2019. — Т. 19. — № 3. — С. 45–48.
7. Finkelman R. B. Potential health impacts of burning coal beds and waste banks // International Journal of Coal Geology. 2004, vol. 59, pp. 19–24.
8. Capilla A. V., Delgado A. V. The destiny of the earth's mineral resources. London: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2015, 672 p.
9. Iguan Wang, Guangcai Wang, Tingyu Ren, Haibo Wang, Qingyu Xu, Guanghui Zhang Assessment of soil fertility degradation affected by mining disturbance and land use in a coalfield via machine learning // Ecological Indicators. 2021, vol. 125, article 107608. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107608.
10. Fischer A. M., Van Hamme J. D., Gardner W. C., Fraser L. H. Impacts from topsoil stockpile height on soil geochemical properties in two mining operations in British Columbia: Implications for restoration practices // Mining. 2022, vol. 2, no. 2, pp. 315–329. DOI: 10.3390/mining2020017.
11. Гаджиев И. М., Курачев В. М. Генетические и экологические аспекты исследования и классификации почв техногенных ландшафтов / Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. — Новосибирск: Наука, 1992. — С. 6–15.
12. Игловиков А. В., Денисов А. А., Санникова Н. В. Инновационные технологии рекультивации нарушенных земель в условиях Крайнего Севера // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. — 2017. — № 2(37). — С. 41–49.
13. Алтангэрэл Дамбын Самовосстановление нарушенных земель в горных разработках Хэн-тэйского нагорья Центральной Монголии (на примере Баганурского месторождения угля) // Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география. — 2015. — № 4. — С. 262–265.
14. Артамонова В. С. Гумусовая мелиорация нарушенных земель: прошлое, настоящее, будущее (обзор) // Антропогенная трансформация природной среды. — 2023. — Т. 9. — № 1. — С. 32–45.
15. Артамонова В. С., Бортникова С. Б. Экологические аспекты рекультивации почв на отвалах вскрышных пород в районах угледобычи // Антропогенная трансформация природной среды. — 2022. — Т. 8. — № 1. — С. 48–57. DOI: 10.17072/2410-8553-2022-1-48-57.
16. Бачурина А. В., Залесов С. В., Толкач О. В. Эффективность лесной рекультивации нарушенных земель в зоне влияния медеплавильного производства // Экология и промышленность России. — 2020. — Т. 24. — № 6. — С. 67–71. DOI: 10.18412/1816-0395-2020-6-67-71.
17. Lestari D. A., Fiqa A. P., Fauziah F., Budiharta S. Growth evaluation of native tree species planted on post coal mining reclamation site in East Kalimantan, Indonesia // Biodiversitas. 2019, vol. 20, pp. 134–143. DOI: 10.13057/biodiv/d200116.

18. Курачев В. М., Андроханов В. А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. — 2002. — № 3. — С. 255–261.
19. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. — М.: Высшая школа, 1973. — 400 с.
20. Роде А. А. Основы учения о почвенной влаге. Т. 1. — Л.: Гидрометеоиздат, 1965. — 663 с.
21. Димо В. Н. Тепловой режим почв СССР. — М.: Сельхозгиз, 1949. — 447 с.
22. Soloviev S., Semina I., Androkhonov V., Shipilova A. Restoration of vegetation cover in reclaimed areas with coal preparation waste in Kuzbass // E3S Web of Conferences. 2021, vol. 244, article 01015. DOI: 10.1051/e3sconf/202124401015.
23. Семина И. С., Андроханов В. А. Почвенно-экологическое обследование участков с рекультивированными отходами углеобогащения, на примере Кемеровской области — Кузбасса // Уголь. — 2021. — № 7 (1144). — С. 57–62.
24. Семина И. С., Андроханов В. А., Шипилова А. М. Температурный режим рекультивированных почв с использованием отходов углеобогащения в Кузбассе // Уголь. — 2022. — № 7(1156). — С. 60–65.
25. ГОСТ Р 59057-2020. Охрана окружающей среды. Земли. Общие требования по рекультивации нарушенных земель. **ИДБ**

## REFERENCES

1. Bragina P. C. Spontaneous combustion of coal dumps in Kemerovo region. *Bulletin of the Kuzbass State Pedagogical Academy*. 2013, no. 4, pp. 57–64. [In Russ].
2. Zhuravleva N. V. Complex assessment of toxicity of industrial wastes of Kemerovo region enterprises. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2006, no. 6-2 (58), pp. 86–89. [In Russ].
3. Ismagilov Z. R., Shikina N. V., Rudina N. A. [et al.] Aluminosilicate microspheres from the fly ash of kuzbass coal-burning power stations. *Solid Fuel Chemistry*. 2015, no. 4, pp. 49. [In Russ].
4. Starojilov V. T., Derbentseva A. M., Pilipushka V. N., Krupskaya L. T., Bubnova M. B. Assessment of technogenic landscapes for their environmental safety (on the example of coal mining and production in the Primorsky Krai). *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*. 2011, no. 4, pp. 41–45. [In Russ].
5. Chibrik T. S. Some aspects of evaluating the biological recultivation experience at the Urals coal fields. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2012, no. 5 (37), pp. 216–218. [In Russ].
6. Chibrik T. S., Lukina N. V., Filimonova E. I., Glazyrina M. A. Restoration of biodiversity on Cherevshansk Nickel Deposit dumps. *Promyshlennaya botanika*. 2019, vol. 19, no. 3, pp. 45–48. [In Russ].
7. Finkelman R. B. Potential health impacts of burning coal beds and waste banks. *International Journal of Coal Geology*. 2004, vol. 59, pp. 19–24.
8. Capilla A. V., Delgado A. V. *The destiny of the earth's mineral resources*. London: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2015, 672 p.
9. Iguan Wang, Guangcai Wang, Tingyu Ren, Haibo Wang, Qingyu Xu, Guanghui Zhang Assessment of soil fertility degradation affected by mining disturbance and land use in a coalfield via machine learning. *Ecological Indicators*. 2021, vol. 125, article 107608. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107608.
10. Fischer A. M., Van Hamme J. D., Gardner W. C., Fraser L. H. Impacts from topsoil stockpile height on soil geochemical properties in two mining operations in British Columbia: Implications for restoration practices. *Mining*. 2022, vol. 2, no. 2, pp. 315–329. DOI: 10.3390/mining2020017.
11. Gadzhiev I. M., Kurachev V. M. Genetic and ecological aspects of research and classification of soils of anthropogenic landscapes. *Ekologiya i rekultivatsiya tekhnogennykh landshaftov* [Ecology and reclamation of anthropogenic landscapes], Novosibirsk, Nauka, 1992, pp. 6–15.
12. Igloukov A. V., Denisov A. A., Sannikova N. V. Innovative technologies of recultivation of disturbed lands in the Far North. *Bulletin of Northern Trans-Ural state agricultural university*. 2017, no. 2(37), pp. 41–49. [In Russ].
13. Altangerel Dambà. Selfrestoration of spoiled lands in mountain mining areas Khentey upland of Central Mongol (Baganur brown coal deposit). *Bulletin of Buryat State University. Biology, Geography*. 2015, no. 4, pp. 262–265. [In Russ].
14. Artamonova V. Humus reclamation of disturbed lands: past, present, future. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2023, vol. 9, no. 1, pp. 32–45. [In Russ].



15. Artamonova V. and Bortnikova S. Ecological aspects of soil reclamation on overburden dumps in coal mining areas. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2022, vol. 8, no. 1, pp. 48–57. [In Russ]. DOI: 10.17072/2410-8553-2022-1-48-57.

16. Bachurina A. V., Zalesov S. V., Tolkach O. V. The effectiveness of disturbed lands forest reclamation in the zone of copper-melting works. *Ecology and Industry of Russia*. 2020, vol. 24, no. 6, pp. 67–71. [In Russ]. DOI: 10.18412/1816-0395-2020-6-67-71.

17. Lestari D. A., Fiqa A. P., Fauziah F., Budiharta S. Growth evaluation of native tree species planted on post coal mining reclamation site in East Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas*. 2019, vol. 20, pp. 134–143. DOI: 10.13057/biodiv/d200116.

18. Kurachev V. M., Androkhanov V. A. Classification of soils of technogenous landscapes. *Siberian journal of ecology*. 2002, no. 3, pp. 255–261. [In Russ].

19. Vadyunina A. F., Korchagina Z. A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv i gruntov* [Methods of research of physical properties of soils and grounds], Moscow, Vysshaya shkola, 1973, 400 p.

20. Rode A. A. *Osnovy ucheniya o pochvennoy vlage*, T. 1 [Fundamentals of the theory of soil moisture, vol. 1], Leningrad, Gidrometeoizdat, 1965, 663 p.

21. Dimo V. N. *Teplovoy rezhim pochv SSSR* [Thermal regime of soils of the USSR], Moscow, Sel'khozgiz, 1949, 447 p.

22. Soloviev S., Semina I., Androkhanov V., Shipilova A. Restoration of vegetation cover in reclaimed areas with coal preparation waste in Kuzbass. *E3S Web of Conferences*. 2021, vol. 244, article 01015. DOI: 10.1051/e3sconf/202124401015.

23. Semina I. S., Androkhanov V. A. Environmental and soil survey of sites reclaimed by coal processing wastes, as exemplified by the Kemerovo region, Kuzbass. *Ugol'*. 2021, no. 7 (1144), pp. 57–62. [In Russ].

24. Semina I. S., Androkhanov V. A., Shipilova A. M. Thermal behaviour of soils remediated using coal processing wastes in Kuzbass. *Ugol'*. 2022, no. 7(1156), pp. 60–65. [In Russ].

25. *GOST R 59057-2020. Okhrana okruzhayushchey sredy. Zemli. Obshchie trebovaniya po rekul'tivatsii narushennykh zemel'* [State Standard GOST R 59057-2020. Environmental protection. Land. General requirements for the reclamation of disturbed lands]. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Семина Ирина Сергеевна – канд. биол. наук, доцент,  
Сибирский государственный индустриальный университет,  
e-mail: semina.i@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-9222-0358,  
Андрокханов Владимир Алексеевич – д-р биол. наук, директор,  
Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения РАН,  
e-mail: androhanov@issa-siberia.ru, ORCID ID: 0000-0002-2123-2367.  
**Для контактов:** Семина И.С., e-mail: semina.i@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

I.S. Semina, Cand. Sci. (Biol.), Assistant Professor,  
Siberian State Industrial University,  
654007, Novokuznetsk, Russia, e-mail: semina.i@mail.ru,  
ORCID ID: 0000-0001-9222-0358,  
V.A. Androkhanov, Dr. Sci. (Biol.), Director,  
Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch  
of Russian Academy of Sciences, 630090, Novosibirsk, Russia,  
e-mail: androhanov@issa-siberia.ru,  
ORCID ID: 0000-0002-2123-2367.  
**Corresponding author:** I.S. Semina, e-mail: semina.i@mail.ru.

Получена редакцией 26.06.2024; получена после рецензии 30.10.2024; принята к печати 10.12.2024.  
Received by the editors 26.06.2024; received after the review 30.10.2024; accepted for printing 10.12.2024.