

Т.М. Минкина¹, Д.В. Сыщиков^{1,2}, И.В. Агурова², А.С. Березовский²,
И.В. Замулина¹, Д.Г. Невидомская¹

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ: ЭДАФИЧЕСКИЙ ПОДХОД К БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет»

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Донецкий ботанический сад»

Проведена комплексная оценка эдафических условий техноземов, сформированных на породных отвалах угольных шахт г. Донецка. Установлено, что основными лимитирующими факторами являются существенная вариабельность гранулометрического состава (содержание физической глины от 8,5 до 58,5 %) и очень высокая неоднородность кислотно-основных условий (рН от 3,65 до 8,55). Показано, что техноземы отвала Чумаковской центральной обогатительной фабрики характеризуются повышенными значениями актуальной (рН<4), обменной и гидролитической кислотности, высоким засолением (до 2,12 % плотного остатка), низкой ферментативной активностью и содержанием элементов минерального питания, что делает невозможным их заселение растениями без предварительного технического этапа рекультивации. Высокая вариабельность содержания органического вещества (от 0,72 до 11,98 %) может свидетельствовать о неоднородности сложения и большом количестве включений обломков угля.

Ключевые слова: технозем, отвалы угольных шахт, ферментативная активность, элементы минерального питания, кислотность

Цитирование: Минкина Т.М., Сыщиков Д.В., Агурова И.В., Березовский А.С., Замулина И.В., Невидомская Д.Г. Экологический мониторинг состояния техногенно нарушенных земель: эдафический подход к биологической рекультивации // Промышленная ботаника. 2026. Вып. 26, № 2. С. 76–88. DOI: 10.5281/zenodo.21493538

Введение

Для промышленно развитых регионов России, включая и Донецкую Народную Республику, проблема защиты окружающей среды является одной из первоочередных. В связи с наличием большого количества шахт и интенсивной добычей угля подземным способом, формирующиеся отвалы угольных шахт не только занимают огромные площади, уничтожая растительный и почвенный покров, но и служат постоянным источником загрязнения территории, непосредственно прилегающей к отвалам [14, 21, 23, 24, 29].

Значительное негативное воздействие шахтных породных отвалов на близлежащие территории проявляется в пылевом и радиоактивном загрязнении, миграции тяжелых металлов и других загрязняющих веществ в почву, загрязнении водных ресурсов, растительного покрова, что бесспорно влияет на снижение уровня экологической безопасности региона в целом [10, 13, 14, 23].

На территории Республики расположены 594 породных отвала, из них 144 – на территории Донецка [16]. Актуальным направлением фито-

экологических исследований в Донецком регионе является поиск возможностей снижения негативных факторов, а также обоснование выбора индикаторных свойств почв для диагностики нарушенных экосистем [1, 8, 15, 17–19, 27, 28].

В настоящее время формирование растительного покрова в условиях породных отвалов Донецкой Народной Республики детально освещено в научных работах [18], а также достаточно информативны исследования, касающиеся проведения фиторекультивационных работ, однако мало раскрыты вопросы, связанные с условиями произрастания растений-ремедиаторов, процессами, происходящими в техноземах породных отвалов, формирующих особенности почвенно-поглощающего комплекса, ряда физических свойств, различных форм азота, ферментативной активности.

В связи с вышесказанным целью настоящего исследования было изучение агрохимических, агрофизических свойств и ферментативной активности антропогенных почв шахтных породных отвалов – техноземов на территории г. Донецка.

Объекты и методики исследований

Для определения пригодности шахтных отвалов к фиторекультивации проведена оценка ряда их эдафических характеристик. В качестве

объектов исследования были выбраны три отвала – два породных отвала и один отвал центрально-обогащительной фабрики (ЦОФ), расположенные на территории Донецкого каменноугольного бассейна в черте города Донецка Донецкой Народной Республики. Выбор данных отвалов обусловлен их месторасположением, отсутствием сомкнутого растительного покрова на экспозициях склонов отвалов, а также различием ряда технических характеристик.

Изучаемые отвалы угольных шахт состоят из глинистых сланцев и песчаников с преобладанием первых. По физическим свойствам порода обогащительной фабрики отличается от породы отвалов угольных шахт более высоким содержанием мелкодисперсной фракции, поскольку при обогащении она измельчается. Кроме того, в терриконах обогащительных фабрик отмечается высокое содержание угольной фракции, горючих веществ и соединений серы, что может обуславливать сохранение очагов горения по всей поверхности данных отвалов до 50 лет. Реакция породы сильноокислая, содержание подвижного алюминия – 50 мг на 100 г породы (по данным 1970-х гг.). Технические характеристики отвалов приведены в таблице 1.

Основной почвенный покров ДНР сформировался на покрытых лессовыми породами во-

Таблица 1. Сведения о модельных отвалах

Шахта	Период эксплуатации	Форма	Фактические параметры отвала			Марка разрабатываемого пласта	Горение	Использование породы
			Объем (м³)	Высота (макс.) м	S основания (м²)			
Чумаковская ЦОФ	1935 – 1960	конический	1 410 000	71	51 тыс.	Т	не горит	нет
Отвал «Запери-вальная»	1970 – 1986	плоский	8 900 000	56	245 тыс.	Т	не горит	нет
Отвал им. Калинина	1962 – 1977	усеченный конический	8 600 000	69	228 тыс.	ГЖ, Ж, К, Т, ОС	не горит	нет

доразделах под травянистой растительностью с преобладанием черноземов обыкновенных (Chernozems) [7]. Однако, угледобывающая промышленность оказала существенное влияние на почвенный покров, приведя к его коренному изменению. В результате образовалась техногенно нарушенный тип почв – Technosols [30]. В качестве эталонного природного ландшафта, не подвергнувшегося антропогенному воз-

действию, типичного для Донецкого региона, выступил контрольный участок ООПТ «Хомутовская степь» с черноземом обыкновенным.

Почвенно-геоботанические исследования и отбор образцов проводили осенью 2025 г. Образцы почв отбирали с северной, южной экспозиций и подножья изучаемых отвалов в трехкратной повторности из поверхностного слоя (0–20 см) отвалов (рис. 1).



Рис. 1. Картограмма модельных участков
Fig. 1. Map of model sites

Определение актуальной кислотности ($\text{pH}_{\text{водн}}$), ферментативной активности и агрегатного состава проводили в свежесобранных образцах. Для анализа физико-химических свойств (гранулометрический состав, сумма обменных оснований, содержание солей и органического углерода) образцы почвы высушивали до воздушно-сухого состояния. Исследование агрегатного состава проведено методом «сухого» просеивания [25]. Анализ гранулометрических фракций проводили методом пипетки с пирофосфатной процедурой подготовки почвы [25] с разделением на фракции ила ($<0,001$ мм), пыли ($0,05\text{--}0,001$ мм) и песка ($1,0\text{--}0,05$ мм). Определение актуальной и потенциальной кислотности, суммы обменных оснований и степени засоления проводили общепринятыми методами [3, 12]. Содержание органического углерода ($\text{C}_{\text{орг}}$) определено по методу Тюрина со спектрофотометрическим окончанием по Орлову-Гриндель [12]. Концентрацию аммонийного азота (обменного аммония) определяли колориметрически с реактивом Несслера [12], содержание нитратного азота – по методу Грандваль-Ляжу [12]. Определение подвижных форм фосфора проводили согласно методу Чирикова [12]. Активность уреазы исследовали по методу А.Ш. Галстяна, фосфатазы – по методу А.Ш. Галстяна и Э.А. Арутюнян [11, 22]. Все анализы выполняли в трехкратной аналитической повторности. Статистический анализ данных проводили с использованием пакета STATISTICA, version 10.0 (StatSoft, Inc.). Сравнение количественных показателей проводили с помощью критерия Стьюдента, различия считались статистически достоверными при $p < 0,05$.

Результаты исследований и их обсуждение

При изучении агрегатного состава техноземов получены данные, показывающие практически для всех вариантов преобладание фракций 3–2 мм, 2–1 мм – по отношению к другим фракциям (рис. 2–4). Так, для отвала шахты «Заперевальная» процент фракции 3–2 мм от общего процентного содержания фракций составлял от 26,25 % до 32,93 %. Однако, для северной экспозиции отвала шахты им. Калинина

зафиксирован бимодальный характер распределения фракций с выраженными максимумами для агрегатов размером более 10 мм и 3–1 мм. На подножье отвала шахты им. Калинина, напротив, увеличивается содержание фракций размером 0,5–0,25 мм. Для техноземов ЦОФ «Чумаковская», отобранных с различных экспозиций, не было зафиксировано существенных изменений в процентном соотношении различных фракций, с преобладанием агрегатов диаметром 3–2, 2–1 мм (рис. 2–4).

Несмотря на преобладание наиболее благоприятной для развития почвообразовательного процесса фракции 3–1 мм в агрегатном составе, для техноземов изученных отвалов характерно существенное превышение фракции > 10 мм по сравнению с эталонной почвой. Такая закономерность отмечалась для северных экспозиций отвала шахты им. Калинина и Чумаковской ЦОФ, что является негативным фактором, способствующим ухудшению питательного режима почв и замедляющим рост и развитие растений в связи со снижением полевой всхожести семян по причине затруднения контакта с породой.

При изучении гранулометрического состава техноземов отвалов установлено, что согласно классификации почв по гранулометрическому составу [6, 26] техноземы отвала шахты «Заперевальная» представлены суглинками легкими (северная экспозиция и подножье) и тяжелыми (южная экспозиция). Техноземы шахты им. Калинина отнесены к легким (северная экспозиция) и тяжелым (подножье) суглинкам и легким глинам (южная экспозиция). Техноземы Чумаковской ЦОФ представлены связными песками (северная экспозиция), легкими суглинками (южная экспозиция) и тяжелыми суглинками (подножье) (рис. 5–7).

Показано широкое варьирование различных фракций в почвах техноземов, которое не зависит от экспозиции, расположения отвалов и климатических факторов. Если в естественных условиях гранулометрический состав определяется характером почвообразующих пород, то в условиях антропогенного стресса формирование гранулометрического состава усложняется из-за действия ряда факторов, среди которых

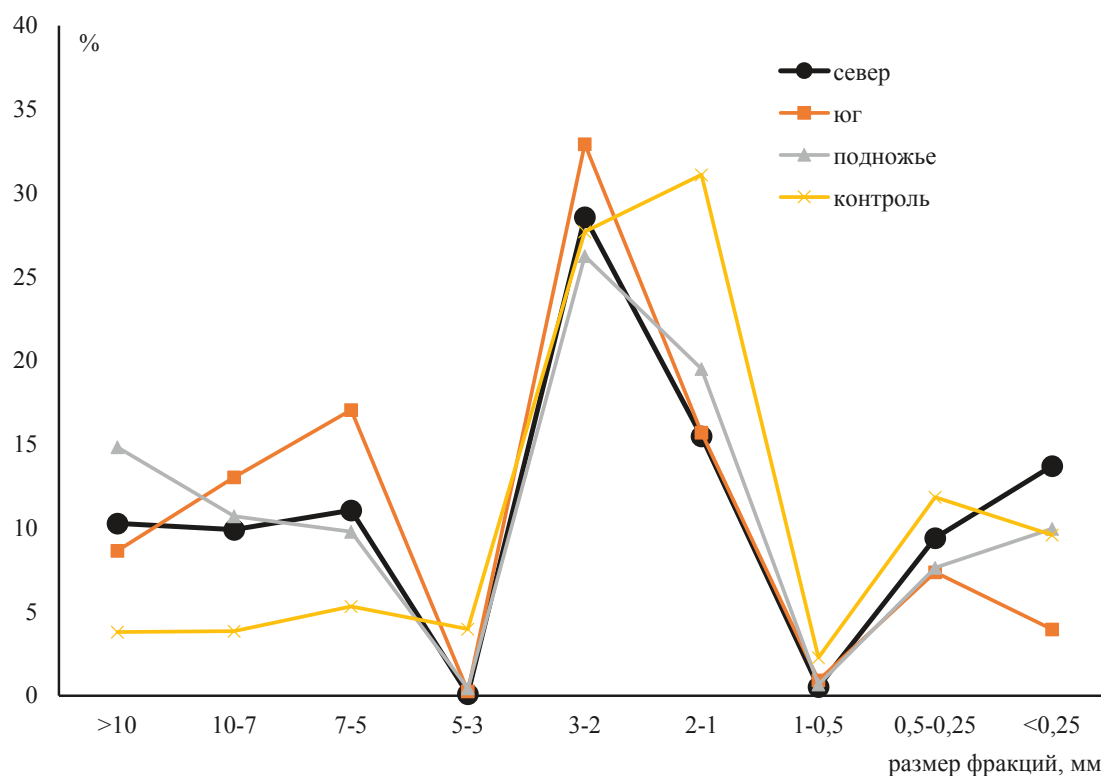


Рис. 2. Агрегатный состав техноземов отвала шахты «Запореваляная»
Fig. 2. Aggregate composition of technosols of the Zaperevalnaya mine dump

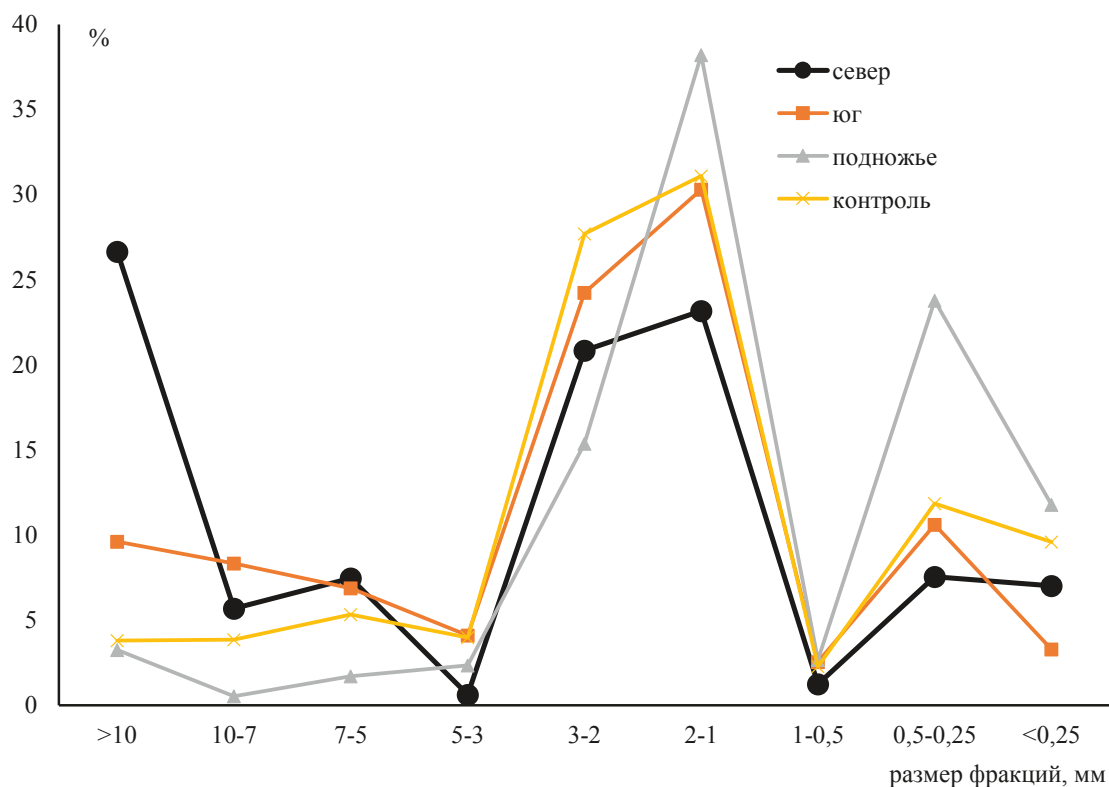


Рис. 3. Агрегатный состав техноземов отвала шахты им. Калинина
Fig. 3. Aggregate composition of technosols from the Kalinin mine dump

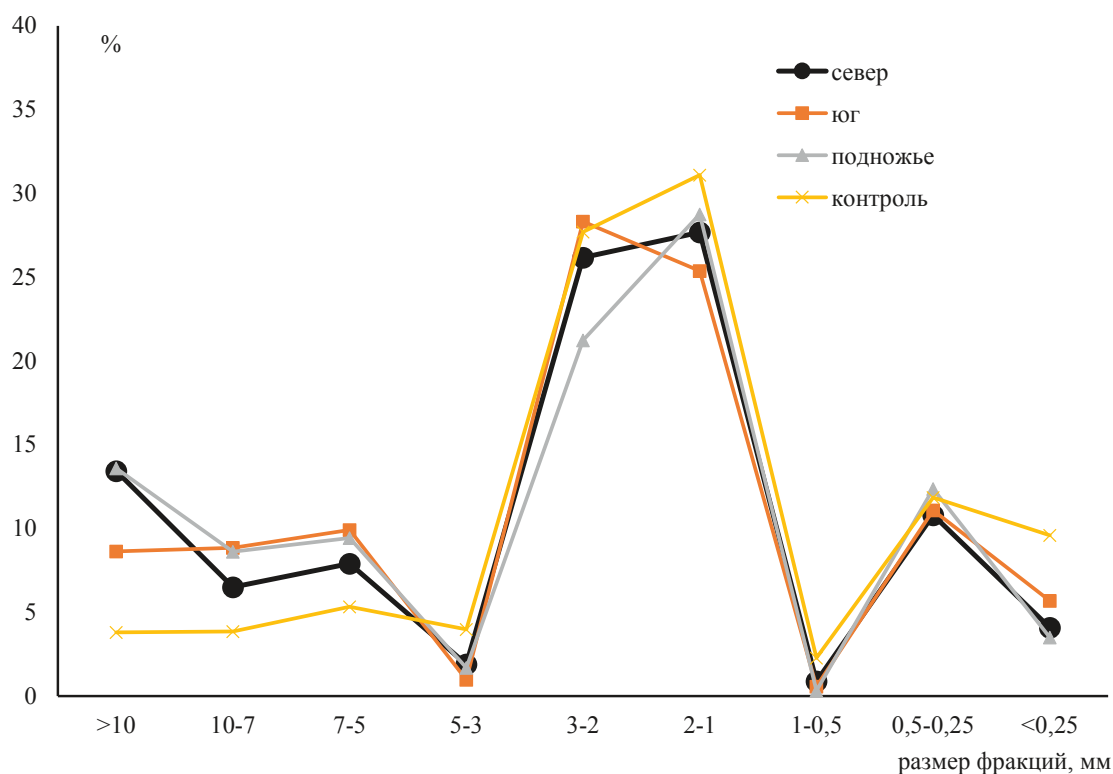


Рис. 4. Агрегатный состав техноземов Чумаковской ЦОФ

Fig. 4. Aggregate composition of technosols of Chumakovskaya Central Processing Plant

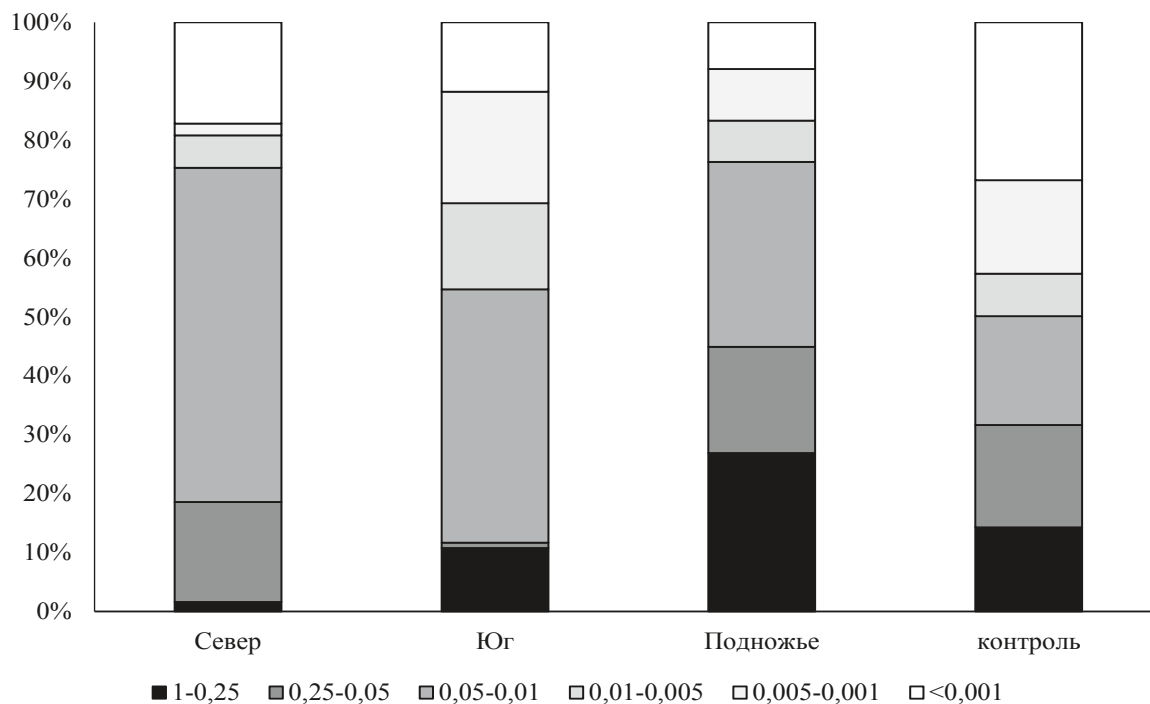


Рис. 5. Гранулометрический состав техноземов отвала шахты «Запореваляная»: север – легкосуглинистая песчано-крупнопылевая, юг – тяжелосуглинистая пылевато-крупнопылевая, подножье – легкосуглинистая крупнопылевато-песчаная

Fig. 5. Granulometric composition of technosols of the Zaperevalnaya mine dump: north – light loamy sandy-coarse silt, south – heavy loamy silty-coarse silt, foot – light loamy coarse silt-sandy

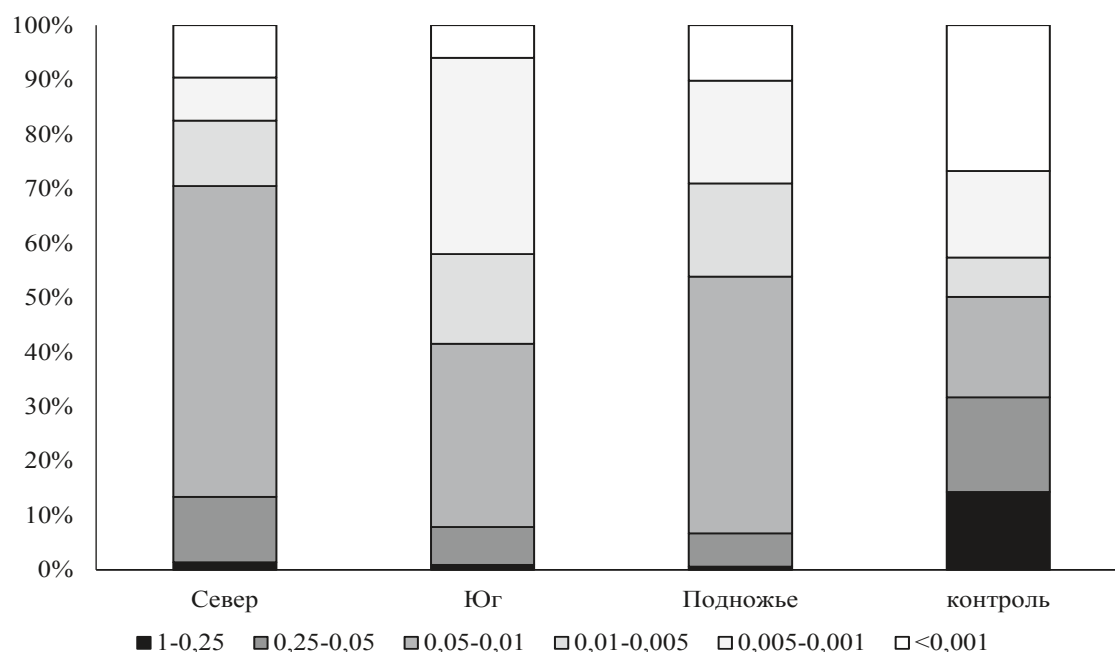


Рис. 6. Гранулометрический состав техноземов отвала шахты им. Калинина: север – легкосуглинистая пылевато-крупнопылеватая, юг – легкоглинистая крупнопылевато-пылеватая, подножье – тяжелосуглинистая пылевато-крупнопылеватая

Fig. 6. Granulometric composition of technosols in the Kalinina mine dump: north – light loamy silt-coarse silt, south – light clayey coarse silt-coarse silt, foothills – heavy loamy silt-coarse silt

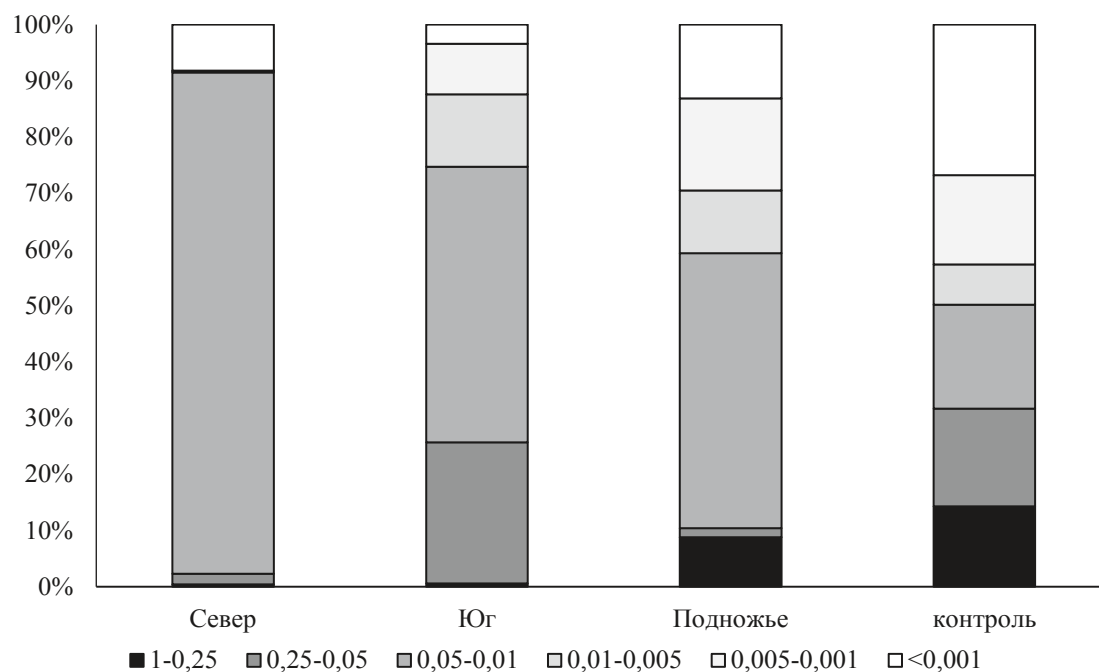


Рис. 7. Гранулометрический состав техноземов отвала Чумаковская ЦОФ: север – связнопесчаная илисто-крупнопылеватая, юг – легкосуглинистая песчано-крупнопылеватая, подножье – тяжелосуглинистая пылевато-крупнопылеватая

Fig. 7. Granulometric composition of technosols of the Chumakovskaya Central Processing Plant dump: north – cohesive sandy silt-coarse silt, south – light loamy sandy-coarse silt, foot – heavy loamy silt-coarse silt

в качестве основного рассматривают выход на дневную поверхность больших масс горных пород, с постепенным изменением водного режима [9–10].

Количество физической глины (частицы меньше 0,01 мм) варьировало от 8,5 до 58,5 %, количество илистой фракции изменялось от 3,4 до 17,2 %. Наименьшее содержание илистой фракции зафиксировано для техноземов Чумаковской ЦОФ, что в данном случае является негативным фактором для развития почвообразовательного процесса, поскольку от количества илистой фракции зависят физические свойства почв, содержания гумуса и элементов минерального питания растений.

При изучении ряда кислотно-основных характеристик установлено, что реакция среды породы отвалов изменяется в широких пределах от сильнокислой до сильнощелочной, варьируя от 3,65 до 8,55 (табл. 2). Так, для техноземов Чумаковской ЦОФ характерна сильнокислая реакция среды, что наряду с высокой степенью засоления (в особенности для северной экспозиции и подножья) делает заселение растений без проведения фиторекультивационных мероприятий практически невозможным.

Наиболее благоприятные условия по показателям pH и засоления сложились на отвале шах-

ты «Заперевальная». Близкие к нейтральным значения pH связаны в первую очередь с длительным периодом после проведенной рекультивации отвалов, что подтверждается данными исследователей, отмечающих нейтральную реакцию среды техногенных ландшафтов [4, 10]. Для техноземов шахты им. Калинина характерна сильнощелочная реакция среды, что также создает препятствия для спонтанного заселения растений.

Одной из основных характеристик кислотно-основного состояния почв является уровень потенциальной (обменной и гидролитической) кислотности. По этому показателю на отвалах Чумаковской ЦОФ сложились крайне неблагоприятные условия, что наряду с минимальными значениями суммы обменных оснований может служить индикатором неблагоприятных эдафических условий. На отвалах шахт «Заперевальная» и им. Калинина значения суммы обменных оснований приближены к значениям зональных почв, что свидетельствует о достаточной интенсивности протекания почвообразовательных процессов. Высокие значения обменной и гидролитической кислотности на различных экспозициях отвала Чумаковской ЦОФ, превышающие значения зональных почв [2, 20], могут служить индикатором неблагоприятных эдафических условий.

Таблица 2. Кислотно-основные характеристики поверхностного слоя техноземов отвалов

Участок/ экспозиция	pH _{вод}	Сумма обменных оснований, ммоль-экв/100 г	Обменная кислотность, ммоль-экв/100 г	Гидролитическая кислотность, ммоль-экв/100 г
Контроль	6,85±0,15	49,94±0,030	0,011±0,002	0,86±0,03
Калинина, север	8,55±0,11	49,72±0,034	—	—
Калинина, юг	8,36±0,09	49,52±0,034	—	—
Калинина, подножье	8,53±0,07	49,18±0,058	—	—
Заперевальная, север	7,56±0,08	47,50±0,089	—	—
Заперевальная, юг	7,88±0,06	49,25±0,034	—	—
Заперевальная, подножье	7,8±0,09	44,53±0,117*	—	—
Чумаковская, север	3,67±0,11	16,80±0,067*	31,96 ± 0,24*	56,97 ± 1,8*
Чумаковская, юг	3,71±0,1	0,37±0,034*	7,69 ± 0,17*	33,06 ± 0,29*
Чумаковская, подножье	3,65±0,07	11,47±0,205*	28,55 ± 0,5*	52,24 ± 2,85*

Примечание. М – среднее значение признака, m – ошибка среднего, % – процент превышения значений по отношению к эталонной почве, «—» – определение потенциальной кислотности не проводилось, поскольку значения pH_{водн} в них превышали 7, * – различия статистически достоверны при p<0,05

По величине плотного остатка (валовому содержанию солей) изученные техноземы были классифицированы как незасоленные, слабо- и сильнозасоленные (табл. 3). Наиболее высокие значения засоления (до 2,12 %), соответствующие сильной степени, зафиксированы для техноземов Чумаковской ЦОФ, в особенности для северной ее экспозиции и подножья. Для южных экспозиций отвалов по содержанию солей почвенный субстрат отнесен к слабозасоленному. Небольшая степень засоления характерна для южной экспозиции отвала шахты «Заперевальная». Показатели влажности техноземов также характеризовались высокой вариабельностью (от 1,1 до 23,43 %). Очень высокая влажность пород Чумаковской ЦОФ (до 17,67 %) вероятно обусловлена технологическими особенностями обогащения и исходным переувлажнением складированного материала.

Показатели содержания органического вещества ($C_{орг}$) в техноземах отвалов в ряде случаев, например, на отвале шахты «Заперевальная» и им. Калинина (северная экспозиция) превышали средние значения как для отвалов угольных шахт Ростовской области (0,3–4,2%) [31], так и в целом по Ростовской области (2,6–5,5%) [5] (табл. 4), а в некоторых случаях были значительно выше показателей эталонной почвы. Высокая вариабельность содержания $C_{орг}$ может свидетельствовать о неоднородности сложения и наличии большого количества включений обломков угля. По содержанию подвижных фосфатов все исследованные техноземы характе-

ризуются очень низким их уровнем, на отвале Чумаковской ЦОФ снижение этого показателя по сравнению с эталонной почвой составляло более чем в 170 раз.

Наибольшей обеспеченностью аммонийным азотом среди эдафотопов исследованных мониторинговых участков характеризовались техноземы северной экспозиции шахты им. Калинина, для техноземов отвалов было зафиксировано варьирование значений содержания нитратного азота от очень низкого (южная экспозиция шахты «Заперевальная») до высокого (южная экспозиция шахты им. Калинина).

При изучении ферментативной активности установлено, что наиболее высокая активность фосфатазы была зафиксирована на северной экспозиции отвала шахты «Заперевальная», соответствующая по шкале Гапонюка и Малахова высокому уровню активности (табл. 5). Практически отсутствует фосфатазная активность в техноземах северной экспозиции и подножья Чумаковской ЦОФ.

Наивысшими показателями активности уреазы среди эдафотопов исследованных мониторинговых участков, однако пониженными по сравнению с эталонной почвой, характеризовались техноземы южной экспозиции отвала шахты им. Калинина (высокий уровень активности). Для всех экспозиций Чумаковской ЦОФ, а также южной экспозиции отвала шахты «Заперевальная» отмечены очень низкие показатели уреазной активности.

Таблица 3. Показатели влажности и общей засоленности техноземов на отвалах различных экспозиций

Участок/ экспозиция	Влажность, %	Плотный остаток, %	Степень засоления
Контроль	23,43	0,128±0,06	незасоленная
Калинина, север	1,64	0,123±0,05	незасоленная
Калинина, юг	5,55	0,083±0,07	незасоленная
Калинина, подножье	4,73	0,124±0,04	незасоленная
Заперевальная, север	5,06	0,084±0,03	незасоленная
Заперевальная, юг	1,1	0,345±0,09	слабозасоленная
Заперевальная, подножье	2,46	0,067±0,02	незасоленная
Чумаковская, север	16,25	2,12±0,11	сильнозасоленная
Чумаковская, юг	13,92	0,412±0,07	слабозасоленная
Чумаковская, подножье	17,67	1,51±0,14	сильнозасоленная

Таблица 4. Содержание элементов минерального питания и органического вещества в техноземах отвалов

Участок/ экспозиция	C _{орг} , %	мг P ₂ O ₅ /100 г почвы	мг N-NH ₄ ⁺ /100 г почвы	мг N-NO ₃ ⁻ /100 г почвы
Контроль	8,59±0,1	3,54±0,16	4,73±0,11	5,34±0,1
Калинина, север	5,66±0,1*	0,78±0,01*	4,93±0,08	0,42±0,07*
Калинина, юг	3,72±0,23*	1,69±0,04*	0,58±0,04*	3,26±0,01*
Калинина, подножье	3,67±0,02*	2,39±0,04*	1,09±0,03*	1,36±0,02*
Заперевальная, север	11,98±0,22*	1,48±0,04*	1,2±0,07*	2,5±0,01*
Заперевальная, юг	5,0±0,17*	0,68±0,02*	3,83±0,18*	0,1±0,01*
Заперевальная, подножье	11,41±0,22*	0,94±0,04*	0,81±0,02*	0,55±0,03*
Чумаковская, север	0,72±0,03*	0,02±0,006*	0,22±0,04*	1,43±0,09*
Чумаковская, юг	4,08±0,09*	0,15±0,01*	0,37±0,03*	2,07±0,05*
Чумаковская, подножье	5,42±0,02*	0,14±0,02*	0,11±0,06*	1,46±0,03*

Примечание. М – среднее значение признака, m – ошибка среднего, % – процент превышения значений по отношению к эталонной почве, * – различия статистически достоверны при p<0,05

Таблица 5. Значения ферментативной активности на различных экспозициях отвалов

Участок/ экспозиция	Уреаза, мг NH ₃ /10 г за 24 ч	Фосфатаза, мг P ₂ O ₅ /10 г за 24 ч
Контроль	54,5±1,50	4,29±0,174
Калинина, север	10,8±0,92*	0,62±0,081*
Калинина, юг	31,3±1,69*	2,13±0,007*
Калинина, подножье	10,1±0,55*	2,29±0,009*
Заперевальная, север	17,5±0,15*	6,76±0,055*
Заперевальная, юг	0,7±0,06*	0,15±0,016*
Заперевальная, подножье	16,6±1,44*	1,07±0,138*
Чумаковская, север	0,9±0,02*	0,03±0,017*
Чумаковская, юг	0,6±0,09*	2,2±0,069*
Чумаковская, подножье	2,4±0,23*	0,92±0,088*

Примечание. М – среднее значение признака, m – ошибка среднего, % – процент превышения значений по отношению к аналогичным почвенным горизонтам эталонной почвы, * – различия статистически достоверны при p < 0,05

Выводы

Установлено, что техноземы угольных отвалов г. Донецка характеризуются высокой пространственной неоднородностью агрохимических, физических и биохимических свойств, что определяется экспозицией склона, типом складированных пород и возрастом отвала. Для отвала Чумаковской ЦОФ основными лимитирующими факторами для самозаращения и биологической рекультивации являются экстремально высокая кислотность (pH<3,7) и засоление (> 2 %), а также очень низкая обеспеченность элементами пи-

тания и ферментативная активность, что требует обязательного проведения технического этапа рекультивации. Показано, что высокое содержание органического углерода в техноземах (до 11,98 %) обусловлено примесью угольных частиц и не сопровождается повышением содержания азота и фосфора. Выявлено, что наряду со стандартными агрохимическими показателями ферментативная активность (уреаза и фосфатаза) является чувствительным индикатором состояния техноземов и может быть рекомендована для мониторинга пострекультивационных процессов.

Для создания благоприятных эдафических условий технический этап рекультивации является необходимым условием для большинства изученных техноземов отвалов в черте г. Донецка. Проведение фиторекультивации с ограничением технических вмешательств возможно лишь в ограниченном числе случаев, при наличии относительно благоприятных физико-химических параметров, с обязательным применением специально подобранных видов растений с широкой экологической амплитудой, устойчивых к локальным условиям, с точечным внесением удобрений и мелиорантов.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБНУ Донецкий ботанический сад по теме FREG 2026-0003 «Комплексное изучение биоресурсного потенциала растений мировой флоры для содействия экологической стабилизации и устойчивого развития Донбасса» № 126020616725-0

Исследование выполнено при поддержке Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030»).

1. Агурова И.В., Сыщиков Д.В. Поглощительная способность почв антропогенных территориальных комплексов Донецко-Макеевской промышленной агломерации // Промышленная ботаника. 2022. Т. 22, N 1. С. 69–80.
2. Агурова И.В., Сыщиков Д.В., Березовский А.С. Изменение поглощительной способности почв под влиянием деградиционных процессов при выращивании сельскохозяйственных культур // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2024. N 3. С. 161–169.
3. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв, издание 2-е, перераб. и доп. М.: Изд-во Московского университета, 1970. 487 с.
4. Бауэр Т.В., Линник В.Г., Минкина Т.М., Манджиева С.С., Невидомская Д.Г. Эколого-геохимические исследования техногенных почв в пойменных ландшафтах Северского Донца (бассейн Нижнего Дона) // Геохимия. 2018. N 10. С. 956–966.
5. Безуглова О.С., Хырхырова М.М. Почвы Ростовской области: учебное пособие. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2011. 352 с.
6. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвоведение. М.; Ростов-на-Дону: МарТ, 2006. 496 с.
7. Грунти Донецької області. Донецьк: Донбас, 1969. 55 с.
8. Достовалова Д.А., Подгородецкий Н.С., Глухов А.З., Сыщиков Д.В. Изучение ряда эдафических показателей субстрата угольных породных отвалов // Промышленная ботаника. 2023. Т. 23, N 4. С. 54–58.
9. Дербенцева А.М., Нестерова О.В., Рыбачук Н.А., Семаль В.А., Майорова Л.П. Подгороденская природно-техногенная катена: морфологические, физико-химические и химические свойства // Сибирский экологический журнал. 2015. N 1. С. 123–136.
10. Замулина И.В., Минкина Т.М., Константинова Е.Ю., Невидомская Д.Г., Литвинов Ю.А. Манджиева С.С., Бауэр Т.В. Физические и химические свойства почв и техногенных поверхностных образований породных отвалов территорий угледобычи Ростовской области // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2024. Т. 79, N 4. С. 157–169.
11. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
12. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
13. Мусина В.Р. Обоснование безопасного размещения углепородных отвалов с учетом геодинамических условий района (на примере Восточного Донбасса): автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2018. 27 с.
14. Пуликова Е.П., Минкина Т.М., Невидомская Д.Г., Горюнов А.В., Константинова Е.Ю., Иванов Ф.Д., Манджиева С.С. Воздействия отходов угледобычи на микрофлору ландшафтов юга России // Инженерная экология – 2023. Материалы международного симпозиума. М., 2023. С. 146–150.

15. Сафонов А.И. Опыт фитоиндикационной оценки антропогенных экотопов Донбасса (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2025. N 2. С. 16–29.
16. Сколько в Донецкой Народной Республике терриконов? Государственный комитет по экологической политике и природным ресурсам при Главе Донецкой Народной Республики. 2021. URL: <https://gkecopoldnr.ru/08/06/2021/news/terricon/?ysclid=m9qo8hx5u3776558287> (дата обращения 03.02.2026)
17. Сыщиков Д.В., Агурова И.В., Сыщикова О.В. Особенности процессов микробиологической мобилизации соединений азота и углерода в эдафотопях техногенно нарушенных земель // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. N 1–2. С. 107–116.
18. Сыщиков Д.В., Агурова И.В., Жуков С.П., Штирц Ю.А. Краткий очерк истории развития научных исследований по фиторекультивации техногенных экотопов Донбасса учеными Донецкого ботанического сада // Промышленная ботаника. 2020. Т. 20, N 3. С. 26–38.
19. Сыщиков Д.В., Агурова И.В. Особенности формирования потенциальной кислотности почв в условиях антропогенного прессинга // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2021. № 1–2. С. 95–102.
20. Сыщиков Д.В., Агурова И.В. Кислотность почв сельскохозяйственных угодий Шахтерского района Донецкой Народной Республики // Промышленная ботаника. 2024. Т. 24, N 1. С. 47–54.
21. Хабибуллина Ф.М., Кузнецова Е.Г., Панюков А.Н. Трансформация растительности, почв и почвенной микробиоты в зоне воздействия породных отвалов угольной шахты «Воркутинская» // Теоретическая и прикладная экология. 2015. N 4. С. 30–37.
22. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
23. Харламова А.В. Негативное воздействие отвалов угольных шахт на окружающую среду и способы его нейтрализации // Экология энергетики – 2017. Труды Международной научной конференции молодых ученых и специалистов (Москва, 23–24 ноября 2017 г.). М.: ИД МЭИ, 2017. С. 88–91.
24. Харламова А.В., Верех-Белоусова Е.И. Исследование эдафических условий рекультивированных породных отвалов // Экология: вчера, сегодня, завтра. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Грозный: АЛЕФ, 2019. С. 504–510.
25. Шейн Е.В., Карпачевский Л.О. Теории и методы физики почв. М.: Гриф и К, 2007. 616 с.
26. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
27. Agurova I.V., Berezovskiy A.S., Minkina T.M., Syschikov D.V., Zamulina I.V., Nevidomskaya D.G. Assessment of the Ecological Status of technogenic ecotopes of dumps in Donbass coal mines // Eurasian Soil Science. 2026. Vol. 59, N 14. P. 1–11.
28. Berezovskiy A., Syschikov D., Agurova I. Urease activity of edaphotopes on rock dumps of coal mines of the Donetsk People's Republic // Agrofor International Journal. 2024. Vol. 9, Iss. 2. P. 85–94.
29. Feng Y., Wang J., Bai Z., Reading L. Effects of surface coal mining and land reclamation on soil properties: a review // Earth-Science Reviews. 2019. Vol. 191. P. 12–25.
30. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th ed. Vienna, Austria: International Union of Soil Sciences (IUSS), 2022. 234 p.
31. Minkina T., Fedorenko G., Nevidomskaya D., Fedorenko A., Sushkova S., Mandzhieva S., Chaplygin V., Litvinov Y., Ghazaryan K., Movsesyan H., Popov Y., Rensing Ch., Vishnu D. Rajput, Ming H. Wong Biogeochemical and microscopic studies of soil and *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. plants affected by coal mine dumps // Environmental Science and Pollution Research. 2024. Vol. 31. P. 406–421.

Поступила в редакцию: 16.03.2026

**ECOLOGICAL MONITORING OF TECHNOGENOUS DISTURBED LANDS:
AN EDAPHIC APPROACH TO BIOLOGICAL RECULTIVATION**

**T.M. Minkina¹, D.V. Syshchykov^{1,2}, I.V. Agurova², A.S. Berezovskiy², I.V. Zamulina¹,
D.G. Nevidomskaya¹**

¹Southern Federal University

²Federal State Budgetary Scientific Institution «Donetsk botanical garden»

A comprehensive assessment of the edaphic conditions of technosols formed on the waste dumps of Donetsk coal mines was conducted. The main limiting factors were found to be significant variability in particle size distribution (physical clay content from 8.5 to 58.5 %) and very high heterogeneity of acid-base conditions (pH from 3.65 to 8.55). It was shown that technosols from the waste dumps of the Chumakovskaya Central Processing Plant are characterized by elevated values of actual (pH < 4), exchangeable, and hydrolytic acidity, high salinity (up to 2.12 % of solid residue), low enzymatic activity, and mineral nutrient content, making their colonization by plants impossible without a preliminary technical remediation stage. The high variability of organic matter content (from 0.72 to 11.98 %) may indicate heterogeneity of composition and the presence of a large number of coal fragments. The obtained results allow for a differentiated approach to the selection of phytoremediation strategies for each of the studied sites.

Key words: technozem, coal mine waste, enzymatic activity, mineral nutrients, acidity

Citation: Minkina T.M., Syschchykov D.V., Agurova I.V., Berezovskiy A.S., Zamulina I.V., Nevidomskaya D.G. Ecological monitoring of technogenous disturbed lands: edaphic approach to biological recultivation // Industrial botany. 2026. Vol. 26, N 2. P. 76–88. DOI: 10.5281/zenodo.21493538
