



ОЦЕНКА ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕХНОГЕННЫХ СУБСТРАТОВ ПРИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ОТВАЛОВ КМА

Татьяна А. Малинина¹✉, malinina15@yandex.ru, 0000-0002-5967-3336

Инна В. Голядкина¹, nina1818@yandex.ru, 0000-0002-4532-3810

Елена Н. Тихонова¹, tichonova-9@mail.ru, 0000-0002-9039-9822

Татьяна П. Деденко¹, dedenkotp@mail.ru, 0000-0002-5914-1225

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия

Открытый способ добычи полезных ископаемых сопровождается негативным антропогенным воздействием на окружающую среду и характеризуется глубоким нарушением сложившегося природного ландшафта. Подобные последствия отмечаются и в Старооскольско-Губкинском железорудном районе Курской магнитной аномалии (КМА). Последний рассмотрен в качестве объекта исследования. Нами была проведена оценка водно-физических свойств техногенных субстратов при биологической рекультивации отвалов. Кроме того, в ходе исследования техногенных ландшафтов были определены элементы минерального питания, водно-физические и физико-химические свойства субстратов. Согласно полученным данным, отвалы в районе исследования характеризуются гранулометрическим составом, который содержит от 6 до 43 % илистых частиц (диаметром менее 0,001 мм). Изученные субстраты содержат незначительное количество водорастворимых солей, а процентное соотношение сухого остатка варьирует в пределах 0,12-0,6 %. Доля органического вещества весьма незначительна и находится на уровне 0,13-0,66 %, а содержание подвижного фосфора 1,8-2,0 и обменного калия до 16 мг/100 г. Рассматриваемые субстраты характеризуются высокой степенью скрепления между отдельными частицами, т. е. высокой связностью. Согласно проведенному анализу данных, субстраты на данном объекте исследования характеризуются водно-физическими свойствами, которые затрудняют произрастание древесных пород.

Ключевые слова: рекультивация, техногенные ландшафты, отвалы, вскрышные породы


Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.


Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.


Для цитирования: Оценка водно-физических свойств техногенных субстратов при биологической рекультивации отвалов КМА / Т. А. Малинина, И. В. Голядкина, Е. Н. Тихонова, Т. П. Деденко // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12. – № 1 (45). – С. 44–55. – Библиогр.: с. 53–54 (14 назв.). – DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2022.1/4

Поступила: 01.02.2022 **Принята к публикации:** 09.03.2022 **Опубликована онлайн:** 01.04.2022

ESTIMATION OF WATER AND PHYSICAL PROPERTIES OF INITIAL SUBSTRATES DURING BIOLOGICAL RECLAMATION OF THE KMA AREAS

Tatiana A. Malinina¹ ✉, malinina15@yandex.ru,  0000-0002-5967-3336

Inna V. Golyadkina¹, nina1818@yandex.ru,  0000-0002-4532-3810

Elena N. Tikhonova¹, tichonova-9@mail.ru,  0000-0002-9039-9822

Tatiana P. Dedenko¹, dedenkotp@mail.ru,  0000-0002-5914-1225

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation

Abstract

The negative impact of man on the environment is noticeably manifested when mining in an open way, in which the prevailing natural landscape is completely disrupted. The object of the study was the Starooskolsk-Gubkinsky iron ore region of the Kursk magnetic anomaly. For the mining technical stage of reclamation of disturbed territories with unsatisfactory growing conditions, common pine (*Pinus sylvestris* L.) was chosen for research. In the results of studies of post-technogenic areas, elements of mineral nutrition, water, physical and chemical properties of substrates were determined. According to these data, the particle size distribution of such dumps contains from 6 to 43% of silt particles (less than 0.001 mm). Water-soluble salts in the substrates contain a small amount, and the dry residue ranges from 0.12-0.6%. The amount of organic matter is small and reaches only 0.13-0.66%, and mobile phosphorus 1.8-2.0 and exchangeable potassium up to 16 mg / 100 g. These substrates have a high connectivity, showing degree of bonding between individual particles. According to the analysis of the data, the substrates at this object of study are characterized by water-physical properties that make it difficult for tree species to grow.

Keywords: biological reclamation, post-technogenic areas, dumps, overburden rocks

Acknowledgments: the authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Malinina T. A., Golyadkina I. V., Tikhonova E. N., Dedenko T. P. (2022) Estimation of water and physical properties of initial substrates during biological reclamation of the KMA areas. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 12, No. 1 (45), pp. 44-55 (in Russian). DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2022.1/4

Received: 01.02.2022 **Revised:** 04.03.2022 **Accepted:** 09.03.2022 **Published online:** 01.04.2022

Введение

В процессе открытого способа добычи полезных ископаемых осуществляется извлечение на поверхность наряду с почвами естественных непочвенных образований. Последние могут представлять собой незакрепленные пески, скальные выходы и другие горные породы. Вследствие хозяйственной деятельности значительные площади преобразованы с формированием техногенных поверхностных образований как во всем мире в це-

лом, так и на территории нашей страны в частности [1]. К этим образованиям относятся сконструированные почвоподобные тела, которые представляют собой остаточные продукты хозяйственной деятельности, состоящие как из природного, так и специфически новообразованного субстрата [6]. Как отмечал В.В. Докучаев («Избранные труды» 1949), подобные образования не являются почвами, ведь для возникновения генетических горизонтов требуется большее время, и они не

успевают сформироваться. В то же время исключать техногенные поверхностные образования из систематики и диагностики нельзя, так как, во-первых, они наряду с почвами и другими объектами функционируют в поверхностных экосистемах, а во-вторых, могут выступать объектом картографирования.

Согласно ГОСТ 17.5.1.02-85, нарушенные земли – это земли, которые утратили свою хозяйственную ценность или которые являются источником отрицательного воздействия на окружающую среду в связи с нарушением почвенного и растительного покрова, гидрологического режима, образованием техногенного рельефа в результате производственной деятельности человека [2, 10, 12].

Добыча полезных ископаемых открытым способом сопровождается образованием породных отвалов, форма и происхождение которых могут быть различны. В районе исследования в процессе складирования и отсыпки вскрышных пород были сформированы следующие виды отвалов: отвалы рыхлой вскрыши (или железнодорожные), мело-мергельные, суглинистые, автовалы песчано-меловые, гидроотвалы, песчано-суглинистые с примесью мело-мергеля [5, 7, 13].

Биогеоценозы, которые формируются на отвалах, характеризуются разнообразной структурой и богатством «экологических ниш» за счет таких факторов, как неоднородность рельефа, различный гранулометрический и литологический состав горных пород, дифференциация условий микроклимата.

Восстановление трансформированных естественных ландшафтов в пределах техногенно-нарушенных земель осуществляется в ходе горнотехнической и биологической рекультивации. Последние общеприняты наряду с другими способами [3].

Горнотехнический этап рекультивации характеризуется отводом субстратов под лесные насаждения. Условия произрастания в пределах техногенных отвалов чаще всего неблагоприятны вне зависимости от их состава и свойств. Одной из перспективных культур на нарушенных землях, согласно многолетним исследованиям авторов, является сосна обыкновенная (*Pinus silvestris* L.) [4, 5].

Таким образом, данная работа выполнена с целью оценки водно-физических свойств техногенных субстратов, расположенных в пределах железорудного бассейна Курской магнитной аномалии (КМА).

Материалы и методы

В настоящем исследовании объектом выступают техногенные ландшафты, располагающиеся в бассейне КМА.

Одним из наиболее крупных объектов, находящихся на горнотехническом этапе рекультивации, является гидроотвал Березовый лог. Начало его формирования приурочено к 1965 году, когда песчаный грунт гидравлическим способом намывался в одноименную балку. На протяжении десяти лет балка площадью 449 га вместила объем песка порядка 360 млн м³, включая некоторое количество суглинистых и мело-мергельных пород.

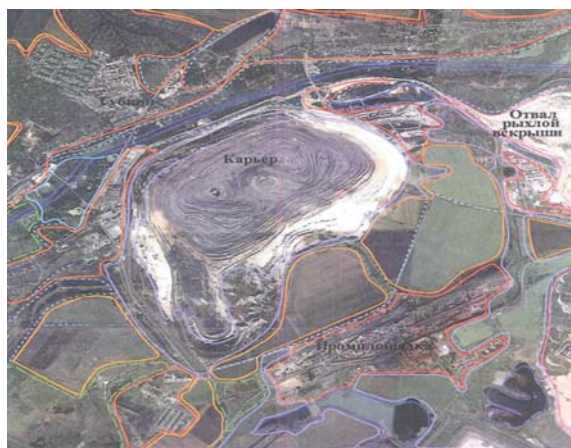


Рис. 1. Карта объекта исследования

Figure 1. Research object map

Бермы упорной призмы достигают площади 24,9 га, тогда как откосы призмы крутизной от 16 до 24° характеризуются площадью 47,3 га. Относительно небольшой уклон отмечается у основания первого откоса, площадь которого составляет 32,1 га. Таким образом, упорная призма характеризуется общей площадью 122,7 га. Начиная с 1976 года и на протяжении 15 лет этот участок подвергся работам по закреплению и облесению сосной обыкновенной, которая выступила в качестве экспериментальной культуры. Корневая система сосны обыкновенной поглощает воду и минеральные вещества, находящиеся в растворе. Кроме того, она также играет важную роль в слож-

ных процессах синтеза, обмена и выделения веществ, что было выявлено в работах различных ученых [5, 6]. Для посадки культур была выбрана схема смещения 10 С, сами работы проводились вручную под меч Колесова.

В процессе исследования были использованы общепринятые методики для определения элементов минерального питания. В частности, содержание общего азота было определено по Голубеву, концентрации подвижных фосфора и обменного калия – по Мачигину, доля гумуса в модификации ЦИНАО. Содержание поглощенных кальция и магния определялось по Каппенну, оценка рН водной вытяжки.



Рис. 2. Почвенный разрез на упорной призме гидроотвала

Figure 2. Soil section on the thrust prism of the hydraulic dump

Источник: собственное фото
Source: authors' own result

Образцы горных пород и субстратов для определения полевой влажности отбирались буром Милькова в пределах 100-сантиметровой глубины с интервалом 10 см. Измерение объемной массы (плотности) почвы осуществлялось буром Качинского. Плотность твердой фазы почвы определялась пикнометрическим методом, общая пористость почвы – расчетным методом. Кроме того, в процессе исследования осуществлялось определение механического состава почвы методом пипетки по Качинскому с пирофосфатами. Определение сухого остатка вытяжки по Аринушкиной Е.В. (1961).

Результаты и обсуждение

Техногенные ландшафты вне зависимости от подстилающих их горных пород характеризуются собственными особенностями почвообразовательных процессов в сравнении с зональными почвами. Результаты гранулометрического анализа приводятся в табл. 1.

Горные породы мезозойского (меловой период) и палеозойского (каменноугольный и девонский периоды) происхождения транспортировались в отвалы преимущественно конвейерным способом, образуя техногенные субстраты.

Доля илистых частиц (диаметром менее 0,001 мм) составляет порядка 4-43 % в гранулометрическом составе этих отвалов. Можно отметить, что на гранулометрический состав субстратов оказывает положительное воздействие высокое содержание лессовидных фракций. Это происходит за счет того, что последние обеспечивают микроструктурное состояние субстратов, сопровождающееся улучшением физических и водных свойств. Мело-мергельные субстраты в своем составе содержат порядка 5-45 % фракции мелкой пыли.

Доля водорастворимых солей в рассматриваемых субстратах незначительна, а процентное соотношение сухого остатка варьирует в диапазоне 0,05-0,12 % (табл. 2).

Кроме того, рассматриваемые субстраты содержат малую долю легкорастворимых солей бикарбонатов и сульфатов кальция и магния. Процентное соотношение сухого остатка в составе субстратов лежит в диапазоне 0,05-0,10 %, увеличиваясь за счет примеси меловых и мергельных пород в 7-14 раз.

В то же время при возрастающем содержании пылеватых фракций отмечается повышение степени засоления содово-сульфатного типа, а емкость обмена характеризуется значениями порядка 15 мг/экв вместо 5-10 мг/экв.

На основании этих данных можно заключить, что техногенные субстраты в рассматриваемых отвалах характеризуются слабым поглощением и накоплением элементов питания. Субстраты с высоким содержанием кальция характеризуются способностью связывать и агрегировать минеральную пылеватую массу.

Гранулометрический состав техногенных субстратов

Table 1

Soil particle-size distribution of initial substrates of post-technogenic areas

Состав техногенных субстратов Initial substrates composition	Содержание фракций (диаметр,мм) % Soil particle-size distribution (diameter, mm) %					
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	менее 0,001 less than 0,001
Глинистый Clay	0,25	14,7	14,65	8,86	12,25	43,29
Мело-мергель Chalk and marl	17,86	9,2	35,4	15,00	15,7	6,25
Песчано-меловой Sand and chalk	42,85	47,2	4,58	0,92	0,18	4,27
Песчано-меловой и мело-мергель Sand, chalk and marl	45,00	23,55	6,55	5,15	8,65	12,1
Суглинисто-меловой Loamy chalk	35,6	20,46	7,44	10,35	12,8	13,35
Песчаный с примесью мела Sand with chalk	53,5	25,54	2,85	8,45	2,22	7,44

Собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

Таблица 2

Химический состав техногенных субстратов

Table 2

Chemical composition of initial substrates of post-technogenic areas

Состав техногенных субстратов Initial substrates composition	Сухой остаток, % Dry matter %	Анионы, мг/экв Anions, mg / eq						
		Щелочность общая Alkalinity	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Сумма Sum	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Сумма Sum
Глинистый Clay	0,12	0,85	0,17	0,30	1,32	0,80	0,30	1,38
Мело-мергель Chalk and marl	0,60	1,15	0,20	6,80	8,15	7,60	0,30	8,21
Песчано-меловой Sand and chalk	0,05	0,90	0,20	0,20	1,30	0,70	0,30	1,21
Песчано-меловой и мело-мергель Sand, chalk and marl	0,10	0,55	0,15	0,30	1,00	0,90	0,20	1,16
Суглинисто-меловой Loamy chalk	0,69	0,60	0,20	7,60	8,40	7,70	0,50	8,40
Песчаный с примесью мела Sand with chalk	0,09	0,85	0,25	0,20	1,30	0,80	0,40	1,30

Собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

Справочные данные свидетельствуют о том, что субстраты с низким содержанием солей позволяют выращивать лесные насаждения без мелиорации.

Содержание гумуса в глинистых субстратах достигает значений 0,66 %, что выше, чем в субстратах другого типа. Также они характеризуются повышенным содержанием кальция в сравнении с магнием. Более того, содержание кальция так велико, что среди поглощенных оснований его значения выше, чем для всех прочих элементов. Водная вытяжка глинистых субстратов имеет нейтральную и слабощелочную среду, согласно значениям pH. Значения емкости обмена лежат в диапазоне 2,86-45,5 мг/экв. Доля органического вещества характеризуется показателями 0,13-0,66 % (табл. 3).

Данные, приведенные в таблице, получены в результате собственных исследований.

В агрегатном составе рассматриваемых субстратов присутствуют фракции диаметром 1-10 мм, которые могут считаться «агрономически» ценными, причем составляют порядка 50 % в этой категории агрегатов. Доля крупных фракций (диаметром >10 мм) лежит в диапазоне 11-24 % (табл. 4).

Преобладающими являются фракции с диаметром частиц менее 1 мм – мелкозем занимает до 50 % от общего объема субстрата. Такой агрегатный состав вызывает ухудшение водной фильтрации, воздушного обмена, затрудняет проникновение тепла, что негативно сказывается на росте и развитии корневой системы.

Отвалы рыхлой вскрыши, формирующиеся в ходе вскрышных работ, состоят из смеси горных пород (пески, глина, алевролиты, фосфориты, мергель, сланцы). Субстраты могут иметь песчаный или суглинистый состав в зависимости от возраста и характера слагающих отложений: сеноманских и аптских песков, неокомских алевролитов, юрских и девонских глин. Мезозойские породы представлены также сланцами, фосфоритами, мелами и мергелями, которые могут составлять 12-50 % по массе. Техногенные субстраты характеризуются твердостью в пределах 0-30 кг/см² с максимальными значениями на глубине 15-25 см. Наивысшие показатели твердости отмечаются в глинистых, меломергельных и суглинисто-меловых субстратах (рис. 3, 4).

Таблица 3

Физико-химические свойства техногенных субстратов

Table 3

Physical and chemical properties of initial substrates of post-technogenic areas

Состав техногенных субстратов Initial substrates composition	Гумус, % Humus, %	Поглощение катионов в мг/экв, на 100г почвы The absorption of cations in mg / eq, per 100 g of soil			pH
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺	
Глинистый Clay	0,66	18,75	1,12	19,87	7,1
Мело-мергель Chalk and marl	0,13	38,27	7,23	45,50	7,5
Песчано-меловой Sand and chalk	0,28	4,10	1,20	5,30	7,5
Песчано-меловой и мело-мергель Sand, chalk and marl	0,32	12,41	3,09	15,50	7,8
Суглинисто-меловой Loamy chalk	0,48	8,35	2,25	10,60	7,7
Песчаный с примесью мела Sand with chalk	0,19	2,22	0,58	2,80	7,7

Источник: Собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

Агрегатный состав техногенных субстратов

Table 4

Aggregate composition of initial substrates of post-technogenic areas

Состав техногенных субстратов Initial substrates composition	Содержание фракций (диаметр,мм) % Soil particle-size distribution (diameter, mm) %					
	более 10 more than 10	10-7	7-1	1-0,5	0,5-0,25	менее 0,25 less than 0,25
Глинистый Clay	11,2	10,5	27,4	7,14	28,46	15,3
Мело-мергель Chalk and marl	23,9	16,4	8,50	5,82	10,45	35,03
Песчано-меловой Sand and chalk	4,00	2,50	22,80	6,45	29,4	34,85
Песчано-меловой и мело-мергель Sand, chalk and marl	25,08	4,26	8,58	12,98	26,41	22,09
Суглинисто-меловой Loamy chalk	18,25	13,45	17,10	6,28	19,64	25,28
Песчаный с примесью мела Sand with chalk	6,10	1,88	18,35	7,12	24,37	42,26

Собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

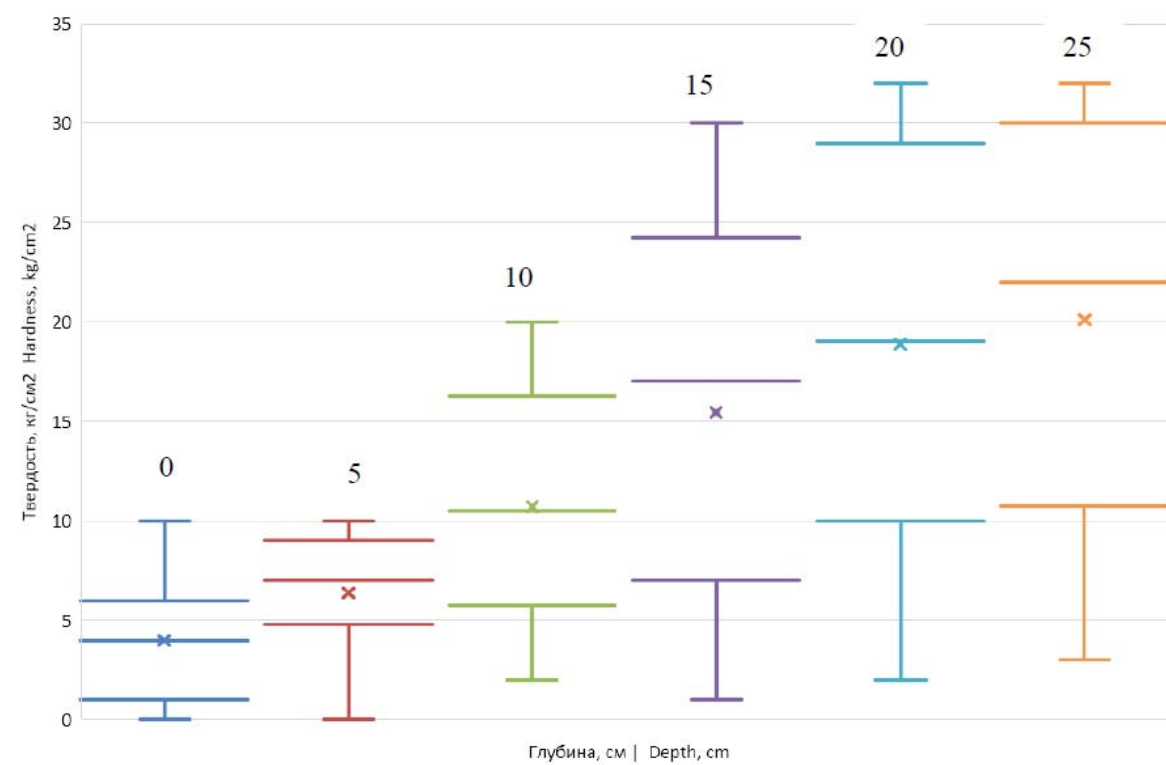


Рис. 3. Распределение твердости исследуемых образцов техногенных субстратов по глубине

Источник: Собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

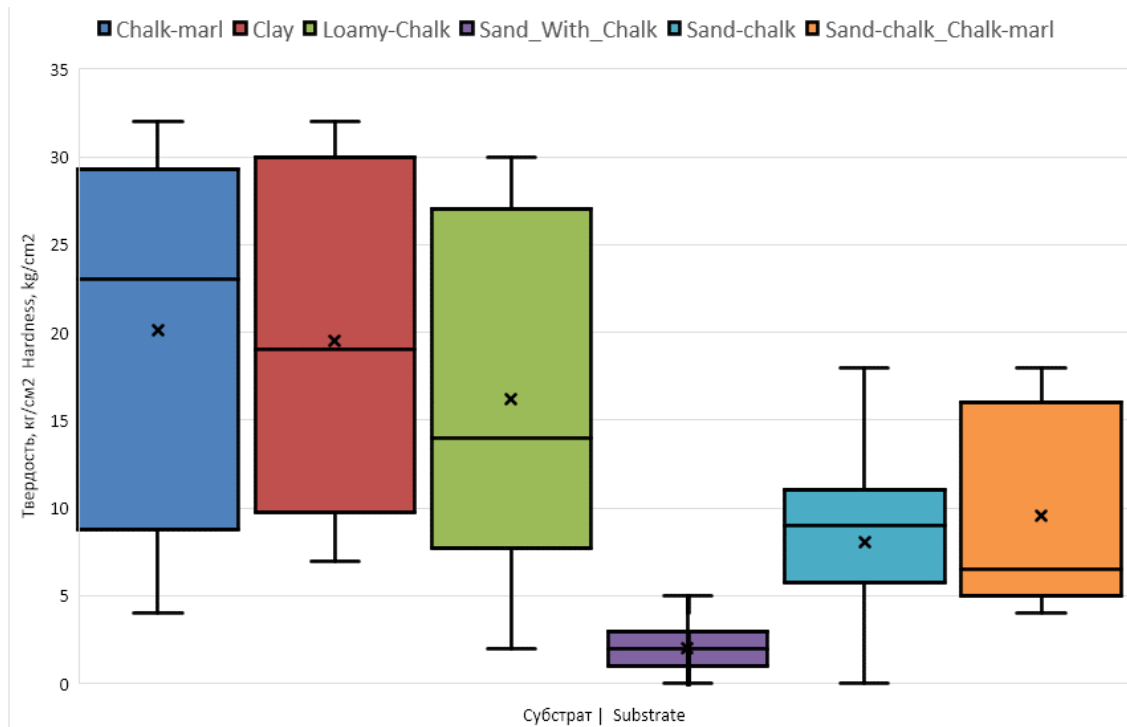


Рис. 4. Распределение твердости исследуемых образцов техногенных субстратов по типу субстрата
 Источник: Собственные экспериментальные данные
 Source: own experimental data

Таблица 5

Агрохимические свойства техногенных субстратов

Table 5

Agrochemical properties of initial substrates of post-technogenic areas

Состав техногенных субстратов Initial substrates composition	Общий N, % Total N, %	Содержание, мг на 100 г Content, mg per 100 g		
		N	K	P
Глинистый Clay	0,05	0,06	16,0	1,85
Мело-мергель Chalk and marl	0,01	-	4,0	2,00
Песчано-меловой Sand and chalk	0,08	0,01	5,0	0,75
Песчано-меловой и мело-мергель Sand, chalk and marl	0,009	0,01	6,2	1,00
Суглинисто-меловой Loamy chalk	0,04	0,03	7,0	2,50
Песчаный с примесью мела Sand with chalk	0,007	-	2,8	0,75

Источник: собственные экспериментальные данные
 Source: own experimental data

Рассматриваемые техногенные субстраты бедны органическим веществом. Содержание общего азота находится в пределах 0,007-0,08 %, а его легкогидролизуемых форм – на уровне 0,01-0,06 мг / 100 г почвы. Концентрации обменного калия достигают 2,8-16 мг/100 г почвы, а подвижного фосфора – 0,75-2,5 мг/100 г (табл. 5).

Пылевато-илистый мелкозем подвержен процессам суспензионного выноса, что способствует снижению плотности техногенных субстратов на поверхности. Удельная масса варьирует в пределах 2,5-2,54 г/см³ (табл. 6). Структура водного баланса определяется комплексом водно-физических свойств, среди которых основную роль играет водопроницаемость. В рамках изучения водопроницаемости грунтов в отвалах была определена скважность. Ее значения зависят от таких факторов, как гранулометрический состав и плотность сложения грунтосмесей. Последний характеризуется показателями 1,4-1,48 г/см³ в районе исследования.

Выводы

1. Отвалы железорудного района КМА представлены неоднородными техногенными субстратами. В связи с этим необходимо провести оценку водно-физических свойств техногенных поверхностных образований для проведения биологического этапа рекультивации.

2. Лесорастительный потенциал отвалов, сложенных техногенными субстратами, определя-

ется комплексом факторов, среди которых большую роль играют их водно-физические свойства. Агрегатный и гранулометрический составы техногенных грунтов, а также плотность их сложения – это основные параметры, влияющие на водопроницаемость. Значения плотности сложения грунтосмесей в пределах района исследования лежат в диапазоне 1,40-1,48 г/см³.

3. Согласно проведенным исследованиям, субстраты в рассматриваемом районе характеризуются водно-физическими свойствами, которые затрудняют произрастание древесных пород. Верхний пятисантиметровый слой обладает распыленной структурой, что обуславливает низкий показатель его водопропускности (5 %). Для его повышения рекомендуется высадка древесных и кустарниковых культур.

4. Техногенные субстраты, покрытые культурой сосны обыкновенной, характеризуются высоким содержанием кальция в поглощающем слое. Это позволяет говорить о благоприятных условиях для формирования водопрочных агрегатов, а также для оструктуривания растительного слоя.

5. Биологическую рекультивацию отвалов целесообразно проектировать в соответствии с рекомендациями, которые могут быть получены в ходе исследований водно-физических свойств техногенных субстратов с учетом почвообразовательного процесса.

Таблица 6

Показатели физико-химических свойств субстратов гидроотвала

Table 6

Water, physical and chemical properties of initial substrates of post-technogenic areas

№	Водно-физические и физико-химические свойства субстратов Water, physical and chemical properties of initial substrates of post-technogenic areas	Слой, глубина, см Layer, depth, cm	
		0-5	20-30
1	Плотность сложения, г/см ³ Density of addition, g / cm ³	1,40	1,48
2	Плотность твердой фазы, г/см ³ Solid phase density, g / cm ³	2,50	2,54
3	Скважность общая, % Porosity, %	44,00	41,73
4	Содержание частиц, % Particle content, % а) < 0,01 б) < 0,001	57,87	50,01
		29,90	26,80
5	Показатель водопропускности, % Water resistance index, %	5	15
6	Водопроницаемость, мм/час Water permeability, mm / hour	60,0	-
7	Гумус, % Humus, %	3,65	3,93
8	Поглощенные катионы мг/экв. на 100 г The absorption of cations in mg / eq, per 100 g: Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺ Сумма Sum Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺	16,05	17,17
		4,99	7,38
		21,04	24,55

Источник: собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

Библиографический список

1. Брагина П. С., Герасимова М. И. Техногенные поверхностные образования на отвалах и хвостохранилищах в Кемеровской области: опыт классификации. Журнал «Почвенного института им. В.В. Докучаева». 2017; (89): 90-103. DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-89-90-103>.
2. Зарипов Ю. В., Залесов С. В., Залесова Е. С., Крюк В. И., Фрейберг И. А. Опыт рекультивации отвалов хризотил-асбеста. Журнал Уральского государственного лесотехнического университета. 2017: 124. eLIBRARY ID: 29996552.
3. Трещевская Э. И., Тихонова Е. Н., Малинина Т. А. Биоразнообразие деревьев и кустарников для лесной рекультивации двухкомпонентных техноземов. Журнал Сибирского отделения Российской академии наук. 2016: 270-275. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26521314>.
4. Трещевская Э. И., Тихонова Е. Н., Малинина Т. А. Использование робинии лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.) для облесения техногенно нарушенных земель. Лесотехнический журнал. 2017; 3 (27); 7: 151-157. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30468609>.
5. Трещевская Э. И., Панков Я. В., Трещевская С. В., Тихонова Е. Н. Культуры сосны обыкновенной на деградированных и техногенно нарушенных землях ЦЧР : монография. Воронеж, 2017. 132 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29307651>.
6. Яковлев А. С. Вопросы экологического нормирования и установления фоновых значений свойств почв природных и природно-антропогенных объектов. Почвоведение: журнал Российской академии наук. 2022; 2: 252-260. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X22020149>.
7. Dedenko T. P., Navalikhin S. V. Ecological aspect of the industrial soils' penetration resistance in wood recultivation of Kursk Magnetic Anomaly. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; 2019; 226: 012024. DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/.
8. Macdonald S., Landhausser S., Skousen J. et al. Forest restoration following surface mining disturbance: challenges and solutions. New Forests. 2015: 703-732. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11056-015-9506-4>.
9. Edraki M., Baumgartl T., Mulligan D., Fegan W., Munawar A. Geochemical Characteristics of Rehabilitated Tailings and Associated Seepages at Kidston Gold Mine, Queensland, Australia. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 2019; 33; 2: 133–147. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480930.2017.1362542>.
10. Gautam S., Patra A. K., Sahu S. P., Hitch M. Particulate Matter Pollution in Opencast Coal Mining Areas: A Threat to Human Health and Environment. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 2018; 32(2): 75–92. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480930.2016.1218110>.
11. Hu Z. Special Issue on Land Reclamation in Ecological Fragile Areas. International Journal of Coal Science and Technology. 2018; 5; 1: 1–2. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40789-018-0206-5>.
12. Nurtjahya E., Franklin J. A. Some Physiological Characteristics to Estimate Species Potential as a Mine Reclamation Ground Cover. International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2019; 33: 75–86. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480930.2017.1333296>.
13. Treschevskaya E., Tikhonova E., Golyadkina I., Malinina T. Soil development processes under different tree species at afforested post-mining sites. FORESTRY-2018 of the journal IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 226 (2019): 012012. DOI:10.1088/1755-1315/226/1/012012.
14. Yang K., Cattle S. R. Contemporary Sources and Levels of Heavy Metal Contamination in Urban Soil of Broken Hill, Australia after ad hoc Land Remediation. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 2018; 32; 1: 18–34. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480930.2016.1208859>.

References

1. Bragina P. S., Gerasimova M. I. Technogenic surface formations on dumps and tailings in the Kemerovo region: an experience of classification Journal of the "V.V. Dokuchaev Soil Institute", 2017; 89: 90-103 (In Rus.). DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-89-90-103>.
2. Zaripov Yu. V., Zalesova E. S., Kryuk V. I., Freiberg I. A. Experience of reclamation of chrysotile-asbestos dumps. Journal of the Ural State Forest Engineering University. 2017: 124 (in Russ.). eLIBRARY ID: 29996552.
3. Treschevskaya E. I., Tikhonova E. N., Malinina T. A. Bioraznoobrazie derev'ev i kustarnikov dlya lesnoj rekul'tivacii dvuhkomponentnyh tekhnozemov [Biodiversity of trees and shrubs for forest reclamation of two-component technozems]. Journal of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 2016 : 270-275 (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=265213144>.
4. Treschevskaya E. I., Tikhonova E. N., Malinina T. A. Ispol'zovanie robinii lzheakacii (*Robinia pseudoacacia* L.) dlya obleseniya tekhnogenno narushennyh zemel. Lesotekhnicheskij zhurnal. 2017; 3 (27): 151-157 (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=304686096>.
5. Treschevskaya E. I., Pankov Ya. V., Treschevskaya S. V., Tikhonova E. N. Scotch pine cultures on degraded and technogenically disturbed lands of the Central Chernozem Region. Monograph. Voronezh, 2017; 132 p. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29307651>.
6. Yakovlev A. S. Issues of ecological regulation and establishment of background values of soil properties of natural and natural-anthropogenic objects. Soil science journal of Russian Academy of Sciences. 2022; 2: 252-260 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X22020149>.
7. Dedenko T. P., Navalikhin S. V. Ecological aspect of the industrial soils' penetration resistance in wood recultivation of Kursk Magnetic Anomaly. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; 2019; 226: 012024. DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/.
8. Macdonald S., Landhausser S., Skousen J. et al. Forest restoration following surface mining disturbance: challenges and solutions. New Forests. 2015: 703-732. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11056-015-9506-4>.
9. Edraki M., Baumgartl T., Mulligan D., Fegan W., Munawar A. Geochemical Characteristics of Rehabilitated Tailings and Associated Seepages at Kidston Gold Mine, Queensland, Australia. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 2019; 33; 2: 133–147. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480930.2017.1362542>.
10. Gautam S., Patra A. K., Sahu S. P., Hitch M. Particulate Matter Pollution in Opencast Coal Mining Areas: A Threat to Human Health and Environment. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 2018; 32(2): 75–92. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480930.2016.1218110>.
11. Hu Z. Special Issue on Land Reclamation in Ecological Fragile Areas. International Journal of Coal Science and Technology. 2018; 5; 1: 1–2. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40789-018-0206-5>.
12. Nurtjahya E., Franklin J. A. Some Physiological Characteristics to Estimate Species Potential as a Mine Reclamation Ground Cover. International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2019; 33: 75–86. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480930.2017.1333296>.
13. Treschevskaya E., Tikhonova E., Golyadkina I., Malinina T. Soil development processes under different tree species at afforested post-mining sites. FORESTRY-2018 of the journal IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 226 (2019): 012012. DOI:10.1088/1755-1315/226/1/012012.
14. Yang K., Cattle S. R. Contemporary Sources and Levels of Heavy Metal Contamination in Urban Soil of Broken Hill, Australia after ad hoc Land Remediation. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 2018; 32; 1: 18–34. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480930.2016.1208859>.

Сведения об авторах

✉ *Малинина Татьяна Анатольевна* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5967-3336>, e-mail: malinina15@yandex.ru.

Голядкина Инна Вячеславовна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4532-3810>, e-mail: nina1818@yandex.ru.

Тихонова Елена Николаевна – кандидат биологических наук, зав. кафедрой ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9039-9822>, e-mail: tichonova-9@mail.ru.

Деденко Татьяна Петровна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5914-1225>, e-mail: dedenkotp@mail.ru.

Information about the authors

✉ *Tatiana A. Malinina* – Cand. Sci. (Agricultural Sciences), Associate Professor, Landscape Architecture and Soil Science Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5967-3336>, e-mail: malinina15@yandex.ru.

Inna V. Golyadkina – Cand. Sci. (Agricultural Sciences), Associate Professor, Landscape Architecture and Soil Science Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4532-3810>, e-mail: nina1818@yandex.ru.

Elena N. Tikhonova – Cand. Sci. (Biological Sciences), Head of Landscape Architecture and Soil Science Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9039-9822>, e-mail: tichonova-9@mail.ru.

Tatiana P. Dedenko – Cand. Sci. (Agricultural Sciences), Associate Professor, Landscape Architecture and Soil Science Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5914-1225>, e-mail: dedenkotp@mail.ru.

✉ – Для контактов/Corresponding author