



Дефляционные процессы на антропогенно нарушенных землях лесостепной зоны

Татьяна А. Малинина¹ ✉, malinina15@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-5967-3336>

Елена Н. Тихонова¹, tichonova-9@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-9039-9822>

Инна В. Голядкина¹, nina1818@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-4532-3810>

Татьяна П. Деденко¹, dedenkotp@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-5914-1225>

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

В Белгородской области на нарушенных территориях Лебединского ГОК (КМА) проведены исследования дефляционных процессов на гидроотвалах различных категорий: свежееотсыпанные, естественно зарастающие и после проведения биологической рекультивации. Эксперимент проведен на трех гидроотвалах с заложением десяти профилей для моделирования скорости воздушного потока и определения его влияния на объем выносимых частиц горных пород. Исследования проведены в период с мая по сентябрь. На песчаных субстратах вынос частиц начинается при скорости ветра 1,2-2,1 м/с. При увеличении скорости до 7,5 м/с, вынос частиц увеличивается в 6-7 раз. Мело-мергельные и суглинистые породы начинают дефлировать при скорости воздушного потока 7,5 м/с, при скорости воздушного потока 10 м/с и более, эти породы дефлируют в 5-11 раз менее интенсивно, чем песчаные. В песчано-меловых смесях с увеличением скорости воздушного потока возрастает масса выносимых частиц диаметром более 0,5 мм. При скорости воздушного потока 7,5 м/с выносятся фракции диаметром 2-10 мм, а при скорости более 10 м/с в пылевоздушный поток попадают частицы диаметром более 10 мм. Зависимость аппроксимируется уравнением линейной регрессии, коэффициент корреляции 0,950-0,998. Из субстратов песчаных, песчано-меловых, мело-мергельных смесей, четвертичных суглинках с нанесенным плодородным слоем типичного чернозема наиболее подвержены процессам дефляции песчаные породы и песчано-меловые смеси с небольшой примесью мела. На гидроотвале с естественным зарастанием масса дефлята меньше. За 1 год с поверхности свежееотсыпанных песчаных отвалов выносятся свыше 800 т/га субстрата.

Ключевые слова: антропогенно нарушенные земли, биологическая рекультивация, дефляционные процессы, гидроотвал, почвенные частицы, горные породы, скорость воздушного потока

Финансирование: данное исследование не получало внешнего финансирования.

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дефляционные процессы на антропогенно нарушенных землях лесостепной зоны / Т. А. Малинина, Е. Н. Тихонова, И. В. Голядкина, Т. П. Деденко // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14. – № 4 (56). – С. 222–237. – Библиогр.: с. 234–237 (25 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.4/15>.

Поступила 15.11.2024. *Пересмотрена* 01.12.2024. *Принята* 17.12.2024. *Опубликована онлайн* 27.12.2024

Wind deflation processes on anthropogenically disturbed lands of the forest-steppe zone

Tatiana A. Malinina¹ ✉, malinina15@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-5967-3336>

Elena N. Tikhonova¹, tichonova-9@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-9039-9822>

Inna V. Golyadkina¹, nina1818@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-4532-3810>

Tatiana P. Dedenko¹, dedenkotp@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-5914-1225>

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

Abstract

Studies were carried out on the disturbed lands of the Lebedinsky mining district in the Belgorod region. The object of the study is deflation processes in different categories of hydraulic filling areas: overburden rock, naturally regenerated and after biological remediation. The experiment was conducted on three heaps with ten profiles to simulate air flow velocity and determine its effect on the volume of extracted rock particles. The studies were conducted between May and September. On sand substrates, particle discharge begins at a wind speed of 1.2-2.1 meters per second. When increasing the speed to 7.5 m/s, the particle discharge increases by 6-7 times. The chalk-marl and loams rocks begin to deflate at an air flow rate of 7.5 m/s, at an air flow rate of 10 m/s or more, these rocks deflate 5-11 times less intensively than the sand. In sand-chalk mixtures, the mass of particles with a diameter greater than 0.5 mm increases with increasing airflow speed. At airflow speeds of 7.5 m/s, particles with a diameter of 2-10 mm are removed and at speeds of more than 10 m/s particles with a diameter of more than 10 mm are removed into the air stream. The dependence is approximated by a linear regression equation, correlation coefficient 0.950-0.998. Among all studied substrates including sand, sand-chalk and chalk-marl mixtures, quaternary loams with salvaged topsoil of Chernozems, the most exposed to the processes of deflation are the sand rocks and sand-chalk mixtures with small impurity of the chalk. On the naturally regenerated heaps the mass of deflation particles is lower. In period of one year, more than 800 t/ha of substrate is removed from the surface of sand heaps.

Keywords: *anthropogenic disturbed lands, biological reclamation, deflationary processes, hydraulic dump, soil particles, rocks, air flow velocity*

Funding: this research received no external funding.

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

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

For citation: Malinina T. A., Tikhonova E. N., Golyadkina I. V., Dedenko T. P. (2024) Wind deflation processes on anthropogenically disturbed lands of the forest-steppe zone. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 14, No. 4 (56), pp. 222-237 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.4/15>.

Received 15.11.2024. *Revised* 01.12.2024. *Accepted* 17.12.2024. *Published online* 27.12.2024

Введение

Эрозионные процессы с участием воды и ветра распространены в центральной части КМА. В количественном отношении, почвы, лишённые в результате эрозии гумусового горизонта (средне- и сильноосмытые) занимают площади порядка 1 млн га. Площади, где из почвы гумусовый слой был вымыт лишь наполовину, занимают еще более значительную площадь (4 млн га) [5,12]. К югу влияние дефляционных процессов на состояние почвенного покрова усиливается. Так, ветровая эрозия отмечается в южной части КМА практически каждый год, и увеличивается после длительных засух. В результате, увеличивается перемещение частиц диаметром менее 1 мм при скоростях ветра 5-7 м/с и достигает 87-97 %.

Среди факторов, усугубляющих возникновение эрозии, стоит отметить высокую степень расчлененности рельефа, неоднородность почвенного покрова и литогенной основы, наличие почв со слабой устойчивостью к выветриванию, обильные осадки ливневого характера, ветры высоких скоростей.

Открытая добыча полезных ископаемых, один из антропогенных факторов вносит свой вклад в усиление эрозионных процессов. В ходе горных разработок происходит смена естественного ландшафта техногенным. Вопросам теоретических и практических исследований восстановления антропогенных ландшафтов посвящены работы таких географов и почвоведов, как Владимир Алексеевич Андроханов (2023) [1], Владимир Борисович Михно (2020) [10] и другие ученые.

Помимо естественно обусловленных факторов (температуры, количество осадков, скорости ветра и т.д.), существенный вклад в развитие эрозионных процессов вносят: химический и гранулометрический состав пород, характер их размещения в отвалах (в том числе уклоны и прочие параметры, характеризующие рельеф), особенности микроклимата [3,6,9].

На характер и интенсивность дефляционных процессов наибольшее влияние оказывают механический состав грунтов и скорость воздушного потока. Степень проявления ветровой эрозии увеличивается по мере снижения плотности пород. В частности, в таких рыхлых породах, как пески и песчано-

меловые смеси, эоловые процессы протекают значительно быстрее, чем в мелах и суглинках.

Интенсивность выветривания на отвалах определяется такими факторами, как их возраст и литологические свойства, состав слагающих пород, задернованность, характер и интенсивность осадков, особенности снеготаяния и другими. При этом скорость протекания деструкционных процессов будет определяться рядом природных и антропогенных факторов. Прежде всего, особенностями преобразованного в ходе добычи и рекультивации рельефа (здесь большую роль играют такие процессы, как длина уклонов, крутизна отвалов, угол наклона спланированной поверхности и др.). Затем гранулометрическими и геохимическими особенностями пород, определяющими их способность противостоять механическому воздействию эрозионных факторов. И, наконец, физико-географическими параметрами (особенности расположения участка, климатические особенности и др.), определяющими интенсивность протекания эрозионных процессов, в частности объем и характер выпадения осадков, скорости и направления ветра и т.д. Эти особенности, характерные для техногенно-нарушенных участков, определяют более высокую интенсивность выветривания при сравнении с естественными ландшафтами, расположенными в аналогичных физико-географических условиях, с одинаковыми уклонами и прочими параметрами рельефа и т.д. Согласно работам зарубежных исследователей [11,21,22,23,24,25], различие между эрозионным слоем отвалов и естественных склонов, не подверженных эрозии, достигает десятков раз. В частности, с 1 акра (0,4 га) отвальных пород можно получить 50 т эродированного материала, тогда как с ненарушенного склона – всего 0,7 т. Разница между этим показателем на задернованных склонах и отвалах может достигать и стократной величины. Изучением вопросов уменьшения дефляционных процессов на нарушенных землях с использованием биологической рекультивации посвящены работы Белова Л.А.[2], Бачурина А.В.[4], Костина Е.А.[7], Трещевская Э.И.[8], Тихонова Е.Н.[16], Юдина Ю.А.[17] и другие. Данная проблема остается актуальной в настоящее время в связи с расширением антропогенных территорий [6,15,18].

Цель работы – сравнительный анализ дефляционных процессов на антропогенно нарушенных землях различных категорий: свежееотсыпанные с отсутствием растительности, естественно зарастающие и биологически рекультивированные.

В данной работе исследуются субстраты различного гранулометрического состава, их пространственные параметры и взаимосвязь с климатическими характеристиками региона.

Материалы и методы

Объект и предмет исследования. Объектом исследования были выбраны три гидроотвала. Упорную призму гидроотвалов начали формировать с 1972 года. Отвалы формируются в ходе вскрышных пород, состоят из смеси горных пород (пески, глина, алевроиты, фосфориты, мергель, мел, сланцы). В отвалы гидравлическим способом складировалось более 400 млн. м³ песка, с небольшим содержанием мело-мергельных пород. Гидроотвалы сложены ярусами высотой 12-15 м и крутизной откосов от 7⁰ до 14⁰.

Предмет исследования - на каждом гидроотвале закладывались профили различной протяженности. На гидроотвале №1 было заложено 4 профиля: профиль №1 – по ровной поверхности без растительности, протяженность 220 м, с установкой парных реперов через 35 м; профиль №2 – естественное зарастание, протяженность 300 м, с установкой реперов через 20 м; профиль №3 – единичное зарастание, протяженность 150 м, с установкой реперов через 30 м; профиль №4 - частичное естественное зарастание кустарниковой и травянистой растительностью, протяженность 220 м, с установкой реперов через 20 м.

На гидроотвале №2, который расположен южнее гидроотвала №1 на расстоянии 500 м, была проведена рекультивация. Здесь было заложено два профиля. Профиль №5 с частичным зарастанием кустарниковой растительности, протяженностью 250 м, с установкой реперов через 50 м. Профиль №6 с посадкой лесных культур (*Betula pendula* Roth, *Sorbus aucuparia* L., *Caragana arborescens* Lam. и другие), протяженностью 480 м, с установкой реперов через 40 м.

Гидроотвал Березовый лог с единичными древесными растениями, на котором заложены контрольные профили: №7 - единичные деревья *Robinia pseudoacacia* L., *Betula pendula* Roth. на расстоянии 2200 м (учитывается расстояние от границы начала эрозии в профилях 7, 8, 9, 10); №8 - в нижней части гидроотвала (культурах) на расстоянии 3000 м; №9 - в лесных культурах мело-мергельных субстратах на расстоянии 300 м; №10 - на глинистых субстратах на расстоянии 350 м в лесных культурах.

Данные для сравнительной характеристики по свежееотсыпанным отвалам были взяты с трудов кафедры агролесомелиорации и почвоведения (1980-1990 г.). Свежееотсыпанный отвал формировался с 1965 по 1980 гг. гидроспособом песчаного субстрата с незначительным включением мела. Период исследования проводился на отвале в 1984-1986 годы, в летне-осенний период.

Сбор данных. В основу проведения исследований положен метод реперов (по С.С. Соболеву), на профилях устанавливалось от 5 до 15 пар реперных точек. В качестве реперов использовались металлические рейки длиной 50 см и диаметром 5-6 мм, устанавливались поперек хода профиля на расстоянии 1 м друг от друга. Измерения проводили с помощью миллиметровой линейки и деревянного бруса длиной 1 м. Измерения проводились с точностью до 1 мм в бесснежный период с помощью сборной конструкции. Для определения количественной характеристики выноса дефлирующих частиц с незакрепленных отвалов использовались ловушки Знаменского с круглыми входными отверстиями площадью 7,5 см² и соотношением отверстий 1:50 и трубчатые ловушки с легкоъемными матерчатými фильтрами. Ловушки устанавливались на высоте 2,5 см, 5 см от поверхности почвы. На поверхности отвалов устанавливались почвенные ловушки-кюветы. Время отбора проводилось от 1 часа (при пыльных бурях) до нескольких суток.

Аэродинамическая установка АУ-2, применяемая в ходе исследования, позволила моделировать ситуации, связанные с различной эродирующей способностью ветрового потока, а также зафиксировать эродируемость субстратов. Проведенный эксперимент позволил установить влияние скорости воздушного потока в диапазоне от 0,6 м/с до 13 м/с на

формирование и протекание дефляционных процессов на различных видах субстратов.

Анализ данных

Полученные результаты рассчитывались как средняя величина из одиннадцати полученных измерений для каждой реперной пары по периодам. Для каждого профиля рассчитывался вынос субстрата как средняя величина по всем имеющимся реперным парам на данном участке.

Анализ экспериментальных данных производили методами вариационной статистики с помощью пакета прикладных программ Microsoft Excel 2021 и STATISTIKA.

Результаты

Было установлено, что из серии изучаемых субстратов (песчаные, песчано-меловые, мело-мергельные смеси, четвертичные суглинки, нанесенный плодородный слой типичного чернозема) наименее

устойчивы к дефляционным процессам рыхлые породы. В частности, песчаные породы, а также песчано-меловые смеси с незначительной примесью мела (табл. 1).

Скорость воздушного потока, минимально необходимая для выноса песчаных частиц, составляет 1,2-2,1 м/с. Объем выносимых частиц при возрастании скорости потока до 5,2 м/с достигает 182 г/м², что можно приравнять к незначительному выносу. Дальнейшее увеличение интенсивности эрозионных процессов приводит к скачкообразному увеличению выноса частиц, в частности в 5,8-7,3 раз при скорости потока 7,5 м/с в песчаных породах и песчано-меловых смесях. Рост скорости воздушного потока до значений, характерных для пыльных бурь (>10 м/с), обуславливает дальнейшее увеличение выноса частиц в песках и песчано-меловых смесях до 10,45-12 кг/м².

Таблица 1

Вынос частиц горных пород при различных скоростях воздушного потока

Table 1

Removal of rock particles at different air flow rates

Скорость ветра, м/с Wind speed, m/s	Вынос (г) горных пород с 1м ² при 10% влажности Removal (g) of rocks from 1m ² at 10% humidity				
	Песчаные Sandy	Песчано-меловые Sandy-chalk	Мело-мергельные Chalk-marl	Четвертичные суглинки Quaternary loams	Нанесенный плодородный слой The applied fertile layer
0,6	0	0	0	0	0
0,9	0	0	0	0	0
1,2	6	0	0	0	0
1,5	6	0	0	0	0
1,7	6	0	0	0	0
2,1	6	6	0	0	0
2,4	18	9	0	0	0
2,8	24	18	0	0	12
3,4	30	21	0	0	18
4,2	139	73	0	0	61
5,2	182	182	0	0	103
7,5	1515	1115	24	61	394
8,5	8782	8119	467	927	3514
10,0	11999	10435	1036	1097	3709
13,0	17659	16059	2357	25399	7696

Собственные экспериментальные данные | Source: own experimental data

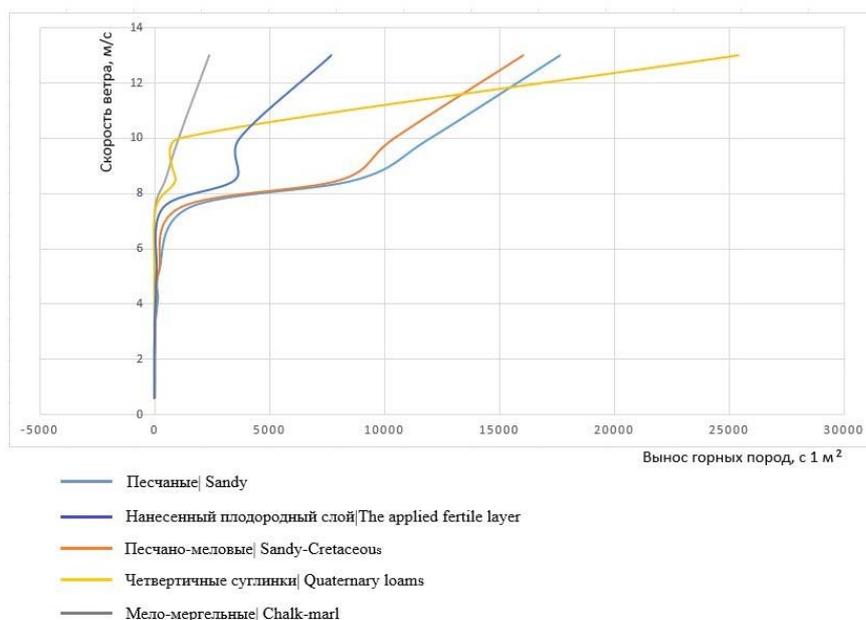


Рисунок 1. Вынос частиц горных пород в зависимости от скорости воздушного потока

Figure 1. Removal of rock particles depending on the air flow velocity

Источник: собственная композиция авторов. Source: author's composition

Более плотные породы, в частности мело-мергели и четвертичные суглинки, при скорости воздушного потока 7,5 м/с характеризуются объемом выноса частиц порядка 24-61 г/м². При этом именно эта скорость потока является стартовой для активизации дефляционных процессов. При дальнейшем росте скоростей потока также возрастает объем выносимых частиц. Вместе с тем, даже при скорости потока 10 м/с объем выносимых частиц в 10,9-11,6 раз ниже аналогичных показателей, характерных для песчаных пород. Даже при возникновении дефляционной ситуации (начиная от 10 м/с) в мело-мергельных породах и суглинках, уровень опасности остается незначительным.

Плодородный слой, представленный черноземом, перемещенным после складирования, характеризуется показателями, средними между рыхлыми песчаными породами и более плотными мело-мергелями, где дефляционная ситуация развивается по достижении воздушным потоком скорости 8,5 м/с и выше.

Зависимость между массой выносимых частиц и скоростью ветра на различных субстратах аппроксимируется уравнением линейной регрессии-полиномом первой степени при коэффициенте корреляции 0,950-0,998 (табл. 2).

Согласно уравнениям регрессии коэффициенты значений скорости ветра на песчаных и песчано-меловых горных породах (2,13 и 1,90) свидетельствуют о значительном подъеме массы переносимых частиц уже при скорости 3-5 м/с. Характер выноса частиц с суглинистых субстратов аналогичен выносу частиц с чернозема, так как при одинаковых приращениях значений аргумента X происходит одинаковое изменение функции Y. Вынос пород зависит от их механического состава, что и подтверждается данными изучения фракционного состава песчано-меловой смеси, наиболее интенсивно подвергаемой выдуванию (табл. 3).

Наиболее подвержены выносу частицы с диаметром менее 0,25 мм, а также частицы диаметром от 0,5 до 0,25 мм. В целом на долю мелкозема приходится – 85,25 % выносимого песчано-мелового субстрата. Вынос частиц крупных фракции (более 5 мм) является незначительным.

Таблица 2

Оценка связи массы выносимых частиц и скорости ветра на различных горных породах

Table 2

Estimation of the relationship between the mass of the carried particles and the wind speed on various rocks

Горная порода Rock formation	Уравнения аппроксимации Approximation equations	Коэффициент корреляции Correlation coefficient	Критерий Фишера The Fisher Criterion		Уровень значимости Significance level
			Вычисленный Calculated	Табличный Tabular	
Песчаные Sandy	$Y=2,13x-10,429$	$0,952\pm 0,022$	170,86	246	0,05
Песчано-меловые Sandy-Chalk	$Y=1,90x-9,278$	$0,950\pm 0,023$	146,38	246	0,05
Мело-мергельные Chalk-marl	$Y=0,98x-5,474$	$0,967\pm 0,019$	145,64	242	0,05
Четвертичные суглинки Quaternary loams	$Y=0,43x-3,019$	$0,994\pm 0,004$	736,14	242	0,05
Чернозем Chernozem	$Y=0,418x-3,119$	$0,998\pm 0,002$	1794,01	242	0,05

Собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

Таблица 3

Агрегатный состав выносимого песчано-мелового субстрата при скорости воздушного субстрата 3-5 м/с

Table 3

The aggregate composition of the removed sand-chalk substrate at an air substrate velocity of 3-5 m/s

Размер фракций, мм Fraction size, mm	10,0	10,-7,0	7,0-6,0	5,0-3,0	3,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	Меньше 0,25 Less 0,25
Содержание фракций, % The content of fractions, %	0,29	0,36	0,41	1,84	2,63	9,22	20,07	30,96	34,22

Собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

С увеличением скорости воздушного потока возрастает масса выносимых частиц диаметром более 0,5 мм. При скорости воздушного потока 7,5 м/с и выше выдуваются частицы диаметром от 2 до 10 мм, а крупнее 10 мм - при скорости ветра более 10 м/с. Однако в условиях техногенного ландшафта поведение системы "субстрат-дефляция" гораздо сложнее: в частности дефлируемость субстрата и эродирующая способность ветра варьируют как в пространстве, так и во времени.

Рассмотрим процессы дефляции на контрольном профиле в центре гидроовала Березовый лог. Участок имеет выровненную поверхность намытого гидроспособом песчаного субстрата с незначительным включением мела.

Согласно данным опубликованным нами ранее [9], что во всех исследуемых субстратах наибольшая доля приходится на фракции размером 0,5-0,25 мм – 24,4% и менее 0,25 мм – 42,3%. Эти фракции состоят из разных по форме и активности частиц наиболее легко и активно перемещающихся под воздействием ветра. Начало общего интенсивного перемещения частиц песчано-мелового субстрата на незначительные расстояния начинается при скорости 2,1 м/с. При скорости выше 5,2 м/с наблюдается перемещение частиц типа "поземка". Пыльные бури на отвале возникают при увеличении скорости ветрового потока выше 10 м/с. Образование пылевых зарядов происходит очень быстро независимо от рельефа поверхности и влажности грунтосмеси.

Согласно наблюдениям установлено (Малинина Т.А., Санитарно-гигиеническая роль лесных насаждений на отвалах Курской Магнитной Аномалии. Лесотехнический журнал. 2016), что при прекращении непрерывного увлажнения субстратов, наличия высокой температуры (выше 20 °С) и низкой влажности воздуха (менее 50%), сильные ветры вызывают быстрое иссушение поверхностного слоя субстрата до влажности 0,1-0,3% (на глубине 5 см влажность не более 2%). В результате этого в начале пылеобразования мельчайшие частицы грунтосмеси переходят во взвешенное состояние практически сухими.

Дефлирующая поверхность отвалов постоянно изменяет свой микрорельеф. Это вызвано тем,

что даже при весьма равномерном ветре мелкозем прекращает перемещаться зачастую в хаотическом порядке. Поверхность отвала принимает форму гребнисто-ребристую. С увеличением гребнистости вынос частиц для данного направления ветра снижается за счет роста собственного параметра шероховатости, а при изменении направления ветра на противоположное, вынос частиц резко увеличивается. Наносы не остаются неподвижными, а перемещаются со скоростью, пропорциональной скорости ветра. В результате наших исследований было выявлено, что интенсивная дефляция наблюдалась в течение 35 дней (с 18 июня по 23 июля) и в среднем по всем точкам профиля вынесен слой субстрата мощностью 20,5 мм. Интенсивность дефляции в среднем за сутки составляла 0,58 мм. При увеличении осадков интенсивность дефляции снижалась до 0,26 мм, при жаркой и сухой погоде показатели увеличивались до 0,95 мм в сутки.

Количество выносимого субстрата зависит от преимущественного западного и юго-восточного направления ветров в исследуемый период при средней скорости ветрового потока 8-14 м/с. Максимальный вынос наблюдался при ветрах западного направления (20,5 мм), а при ветрах юго-восточного направления было вынесено 14,4 мм.

Результаты проведенных исследований (табл. 4) показали, что количество выносимого субстрата увеличивается примерно до 200 м от границы эрозии, где наблюдается небольшой вынос - 105,2 мм (1515 т/га). Затем происходит плавный спад и на расстоянии 225 м вынос составляет 76,6 мм. Общее количество выносимого субстрата за год составляет 879,8-1103,1 тонн с га. Масса выносимых частиц изменяется с удалением от границы до начала дефляции и достигает максимума на расстоянии 200 м. На этом расстоянии наращивание насыщенности воздушного потока дефляции происходит более равномерно. Затем наблюдается подъемы и спады насыщенности песчаными частицами в связи с пульсацией турбулентного потока.

Количество выносимого субстрата за год

Table 4

The amount of substrate removed per year

№ контрольных точек control points	Расстояние от очага дефляции Distance from the source of deflation	Замеры по периодам наблюдения, мм Measurements by observation period, mm		Вынесено субстрата The substrate has been removed	
		24.05.83	27.05.84	мм mm	т/га t/ga
7	125	82,2	143,3	61,1	879,8
8	175	60,9	118,0	57,4	826,6
9	200	55,3	160,5	105,2	1514,9
10	225	58,3	134,9	76,6	1103,1

По экспериментальным данным Дюкова А.Н. (1983-1986 г.)

According to experimental data Dyukova A.N.

Обсуждение

Изучение изменения количественных и качественных параметров частиц, перемещаемых воздушным потоком, по мере увеличения расстояния между начальной точкой выноса и их дальнейшим положением в потоке играет большую роль для понимания механизма дефляции. В процессе переноса твердых частиц (песка, почвы и т.д.) в приземном слое можно выделить три формы движения частиц в потоке: самые тяжелые частицы в относительно слабом потоке движутся перекатыванием, по мере уменьшения размера частиц и увеличения силы воздушного потока возрастает доля скачкообразного движения, самые легкие частицы перемещаются во взвешенном состоянии. Основное количество частиц переносится в слое до 30 см. Интенсивность эродируемости возрастает с увеличением скорости воздушного потока над поверхностью субстрата и по мере движения ветропесчаного потока вдоль его направления над эродируемой поверхностью. Чем больше расстояние от границы начала дефляции по направлению воздушного потока, тем больше дефлянта вовлекается в ветровой поток, тем выше становится насыщенность и увеличивается разрушительная сила ветропесчаного потока. Нарастание плотности ветропесчаного потока по мере увеличения эродируемой площади получило название «лавиного эффекта».

Масса переносимых частиц у поверхности отвала за час с площади 1 м² при скорости воздушного

потока 12,2 м/с резко возрастает и достигает максимума на расстоянии 100 м - 9,18 кг. При скорости ветра 4,9 м/с максимум переносимого субстрата приходится на расстоянии 75 м и составляет всего лишь 0,024 кг/м² в час.

Интенсивное перемещение частиц на высоте 2,5 см от поверхности наблюдается на расстоянии 50-225 м. Насыщенность золовым материалом воздушного потока во всех случаях возрастает до 100-225 м, а дальше идет равномерный спад. С гребня откоса отвалов максимальная насыщенность ветропесчаного потока происходит значительно быстрее и расстояние от базиса эрозии сокращается до полного насыщения в 3-5 раз. При достижении максимального насыщения потока золовым материалом поток еще принимает в себя песчинки, но нести их не может. Начинается выпадение золотого материала из потока. При этом уменьшается динамический напор потока и теряется его транспортирующая способность. Это продолжается почти до полного освобождения потока от частиц, а затем начинается новый этап насыщения потока переносимым материалом, то есть насыщение ветропесчаного потока переносимым материалом носит пульсирующий характер.

Над ровной поверхностью отвала переносимый золовый материал неравномерно распределяется по высоте в 5-см ветропесчаном потоке. В этом случае небольшая масса частиц переносится на высоте 2,5 см (около 73%).

Масса переносимого дефлята в приземном слое воздуха

Table 5

The mass of the transferred deflate in the surface layer of air

Профили Profiles	Расстояние от границы начала эрозии, м Distance from the boundary of the beginning of erosion, m	Масса дефлята при высоте отбора проб, кг/м ² в час Deflate mass at sampling height, kg/m ² per hour					
		Скорость ветра 12,2 м/с (июнь) Wind speed 12.2 m/s (June)			Скорость ветра 4,9 м/с (июль) Wind speed 4.9 m/s (July)		
		0 см cm	2,5 см cm	5 см cm	0 см cm	2,5 см cm	5 см cm
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	25	1,03	1,63	0,32	0,015	0,061	0,024
3	50	5,44	13,79	2,36	0,016	0,072	0,012
4	75	7,71	13,86	2,59	0,024	0,065	0,012
5	100	9,18	13,89	2,84	0,021	0,067	0,013
6	150	4,56	14,44	5,98	0,007	0,066	0,028
7	225	4,45	15,20	9,01	0,009	0,085	0,006
8	325	4,95	7,07	4,32	0,021	0,084	0,006
9	475	4,94	6,80	3,41	0,011	0,082	0,007
10	625	3,26	5,24	2,56	0,011	0,080	0,008

Собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

На долю перекатывающихся по поверхности частиц приходится 15%, а во взвешенном состоянии 12%. Остальной процент частиц перемещается в скачкообразном состоянии. Соотношение выноса, переноса и отложения частиц зависит от скорости воздушного потока, его турбулентности и характера поверхности почвы учитывая зарастание кустарниковой и травянистой растительностью. В профиле №2 присутствует естественное зарастание и при небольшом расстоянии 25 м от границы начала эрозии показатели массы дефлята при исследуемой скорости воздушного потока составили от 0,024 кг/м³ до 1,63 кг/м³. В профилях №3,4,5,6,7, где присутствует единичное зарастание кустарниковой, травянистой и древесной растительностью показатели массы дефлята при скорости воздушного потока 12,2 м/с достигают своих максимальных значений от 13,79 кг/м³ до 15,2 кг/м³. На гидроотвале Березовый лог в лесных культурах масса дефлята на расстоянии в 325 м в два раза ниже, чем в единичных посадках.

Как мы видим из табл. 6, при незначительных осадках в мае (6,7 мм) и высокой скорости воздушного потока (12,2 м/с) интенсивность дефляции составляла от 2,04 до 2,55 т в сутки с 1 га в зависимости от структуры отвалов. В конце вегетационного периода (август, сентябрь) при достаточном увлажнении (108,4 мм, скорость воздушного потока 7,8 м/с) субстратов интенсивность дефляции не превышала 0,7 т в сутки с 1 га.

Таблица 6

Масса выносимого субстрата с отвалов

Table 6

The mass of the removed substrate from the dumps

Отвалы Dumps	Интенсивность дефляции, т/сут. с 1 га The intensity of deflation, t/day with 1 ga				Вынос за период наблюдений, т/га Takeaway for the observation period, t/ga
	май	июнь	июль	август, сентябрь	
Гидроотвал №1 Hydraulic dump №1	2,55	1,12	1,14	0,70	381,0
Гидроотвал №2 Hydraulic dump №2	2,04	0,55	0,48	0,24	268,0
Гидроотвал Березовый лог, с лесными культурами Birch log hydraulic dump, with forest crops	2,19	0,92	0,80	0,43	300,0
Свежеотсыпанный freshly poured	6,45	3,15	1,30	0,80	806,0

Собственные экспериментальные данные

Source: own experimental data

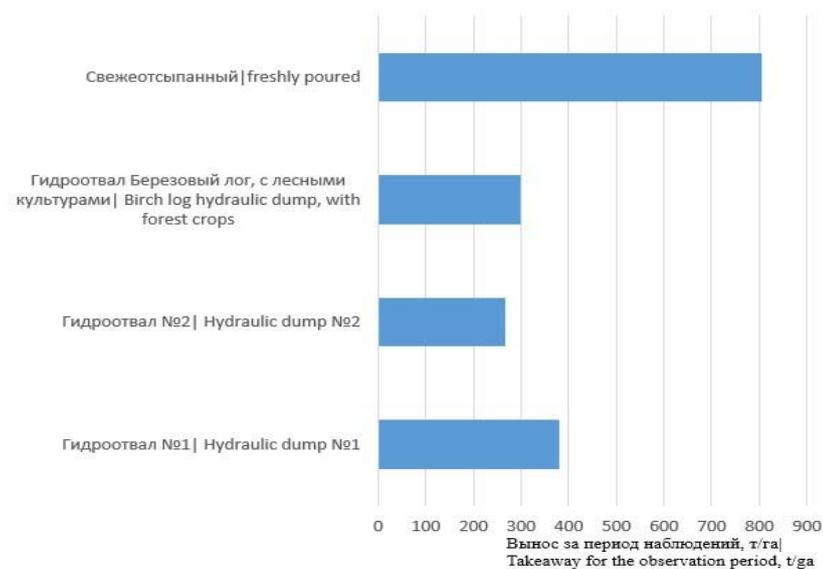


Рисунок 2. Вынос субстратов с отвалов

Figure 2. Removal of substrates from dumps

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

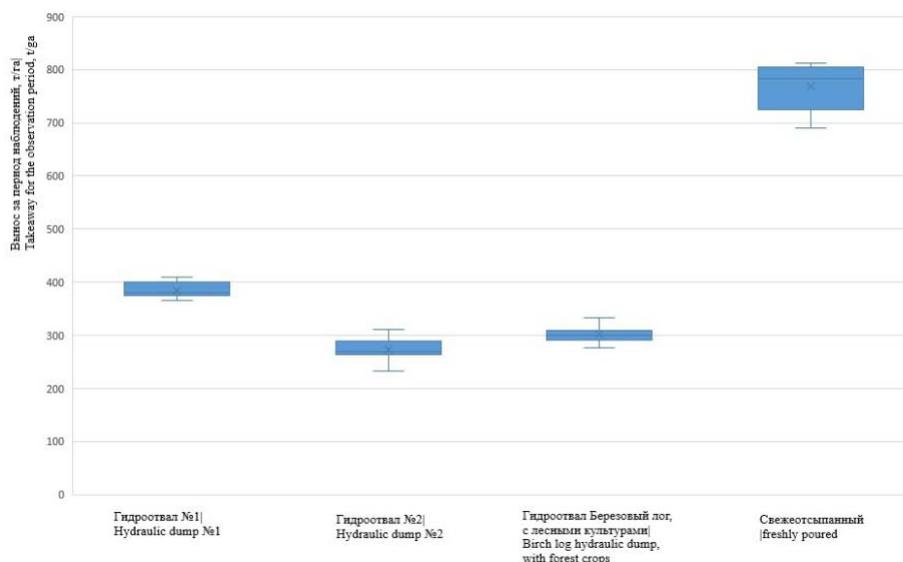


Рисунок 3. Боксплот-диаграмма средних значений выноса субстратов с различных гидроотвалов
Figure 3. Boxplot-diagram of the average values of the removal of substrates from various hydraulic dumps

Источник: собственная композиция авторов Source: author's composition

Сопоставляя массу выносимого субстрата за один год с различных отвалов, было установлено, что свежеотсыпанные субстраты гидроотвала теряют в результате выдувания свыше 800 т/га.

Выводы

1. Подтверждается, что в зависимости от скорости воздушного потока и почвенных субстратов влияние дефляционных процессов увеличивается при пороговом значении скорости ветра 1,2-2,1 м/с. Скорость воздушного потока, необходимая для дефляции мелко-мергельных и суглинистых субстратов, составляет 7,5 м/с.

2. Механический состав пород является одним из факторов, определяющих массу выносимых частиц. Частицы диаметром 2-10 мм выносятся воздушным потоком при скорости 7,5 м/с, при увеличении скорости (>10 м/с) пылевоздушный поток захватывает частицы диаметром более 10 мм.

3. Максимальное насыщение ветрового потока дефлятом происходит в среднем на расстоянии 200 м от границы начала эрозии. Эта величина определяется направлением и скоростью воздушного потока.

4. Интенсивность выноса частиц определяются климатическими факторами местности. Исследования проводились с мая по сентябрь, в засушли-

вый период, изучаемые субстраты (песчаные, песчано-меловые, мелко-мергельные смеси, четвертичные суглинки, нанесенный плодородный слой типичного чернозема) наиболее подвержены процессам дефляции песчаные породы и песчано-меловые смеси с небольшой примесью мела.

5. Сопоставляя массу выносимого субстрата с различных отвалов, было установлено, что на гидроотвалах, где присутствует естественное зарастание или лесные культуры, масса выносимого субстрата 268-381 т/га – это значительно меньше, чем на отвалах, где растительность отсутствует с показателями 800 т/га.

Список литературы

1. Androkhyanov V. A., Boguslavsky A. E., Sokolov D. A. [et al.]. Soil-Ecological Assessment of Recultivation at the Spoils of Coal Deposits // *Chemistry for Sustainable Development*. 2023: 31 (1): 1–12. DOI: <http://doi.org/10.15372/CSD2023433>.
2. Белов Л. А., Башегуров К. А., Залесов С. В., Зарипов Ю.В., Осипенко Р.А. Эффективность рекультивации выработанного песчаного карьера посевом сосны обыкновенной. Актуальные проблемы лесного комплекса. 2021;60:7-10. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47200106>.
3. Батраченко Е.А., Долгополова Н.В. Изменение физико-химических свойств почв при эрозионных процессах // Тренды современной географии и географического образования. Матер. Всерос. науч.-практ. конференции. Курск, 2020. С. 14–16. URL: <http://www.elibrary.ru/jjbkprz>.
4. Бачурина А. В., Залесов С.В., Толкач О.В. Эффективность лесной рекультивации нарушенных земель в зоне влияния медеплавильного производства. Экология и промышленность России. 2020; 6: 67-71. DOI <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-6-67-71>.
5. ГОСТ 17.5.1.02-85 «Охрана природы. Земли. Классификация нарушенных земель для рекультивации». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003375>.
6. Деденко Т. П. Сохранность и особенности роста лесных культур на меломергельных техногенных почвах Курской области / Т. П. Деденко, Е. Н. Тихонова, Т. А. Малинина // *Лесотехнический журнал*. – 2024. – Т. 14. – № 2 (54). – С. 20–35. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/2>.
7. Костина Е. Э., Ахметова Г. В., Пеккоев А. Н., Харитонов В. А., Крышень А. М. Формирование растительного покрова при лесной рекультивации песчано-гравийного карьера в Республике Карелия. Растительные ресурсы. 2022; 3:290-310. DOI <https://doi.org/10.31857/S0033994622030074>.
8. Кушнир Е. А., Недбаев И. С., Трещевская Э. И. Оценка состояния лесных насаждений и почвенного покрова на участках рекультивации Кингисеппского месторождения фосфоритов // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2021, № 1. С. 68–80. DOI 10.21178/2079-6080.2021.1.68.
9. Малинина Т.А. 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. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2022.1/4.
10. Михно В. Б. Современные проблемы физической географии и ландшафтоведения / В. Б. Михно, А. С. Горбунов, О. П. Быковская. Воронеж, 2020. 176 с. ISBN 978-5-9273-3063-8. URL: <https://www.elibrary.ru/hgqrws>.
11. Недбаев И. С. Изучение мирового и российского опыта по разработке оптимальных путей рекультивации нарушенных земель / И. С. Недбаев, Е. Ю. Елсукова // *Вестник евразийской науки*. – 2021. – Т. 13. – № 6. – URL: <https://esj.today/PDF/27NZVN621.pdf>.
12. Охрана окружающей среды в Российской Федерации в 2011, 2013, 2015, 2017, 2019 г. Статистический сборник. – М.: Росстат России.
13. Павленко Д. И., Малая М. С., Башегуров К. А., Осипенко Р. А., Белов Л. А. Эффективность лесохозяйственного направления рекультивации песчаных карьеров. Леса России и хозяйство в них. 2022; 2(81): 19-26. DOI 10.51318/FRET.2022.44.46.003.
14. Пигорев И. Я., Буланова Ж. А. Облесение отвалов вскрышных пород Курской магнитной аномалии (КМА). Охрана и рациональное использование лесных ресурсов : материалы X междунар. форума, г. Хэйхэ. Благовещенск. 2019:139-141. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38428959>.
15. Стифеев А.И., Никитина О.В., Нагорная О.В. Основные направления преобразования техноземов в культурные ландшафты. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019; 3:28-34. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38249929>.

16. Трещевская Э.И., Тихонова Е.Н., Голядкина И.В., Трещевская С.В., Князев В.И. Карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.) как кустарниковая порода при биологической рекультивации техногенных ландшафтов. Лесотехнический журнал. 2021; 3 (43):31-44. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/3>.
17. Юдина Ю. А. Рекультивация земель, природоохранные мероприятия, направленные на плодородие нарушенных земель // Охрана биоразнообразия и экологические проблемы природопользования : сборник статей Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Пенза, 2020. – С. 282–284. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43803793>.
18. 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>.
19. 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/.
20. Festin E.S., Tigabu M., Chileshe M.N. et al. Progresses in restoration of post-mining landscape in Africa. J. For. Res. 2019;30:381-396 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0621-x>.
21. Pietrzykowski M. Tree species selection and reaction to mine soil reconstructed at reforested post-mine sites: Central and eastern European experiences. Ecological Engineering. 2019; 3: 100012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoena.2019.100012>.
22. Abandonment and recultivation of agricultural lands in Slovakia-patterns and determinants from the past to the future / Pazur R., Lieskovsky J., Burgi M., Muller D., Lieskovsky T., Zhang Z., Prischchepov A.V. // Land. 2020. № 9. С. 316. DOI:10.3390/land9090316.
23. Kuznetsova I.V., Timofeeva S.S. Green technologies in land recultivation for coal mining enterprises // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – № 1 (408). – DOI: 10.1088/1755-1315/408/1/012075.
24. 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>.
25. 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>.

References

1. Androkhanov V. A., Boguslavsky A. E., Sokolov D. A. [et al.]. Soil-Ecological Assessment of Recultivation at the Spoils of Coal Deposits // Chemistry for Sustainable Development. 2023; 31 (1): 1–12. DOI: <http://doi.org/10.15372/CSD2023433>.
2. Belov L. A., Bashegurov K. A., Zalesov S. V., Zaripov Yu. V., Osipenko R.A. The effectiveness of recultivation of a developed sand pit by sowing scots pine. Actual problems of the forest complex. 2021; 60: 7-10. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47200106>.
3. Batrachenko E.A., Dolgoplova N.V. Changes in the physico-chemical properties of soils during erosion processes // Trends in modern geography and geographical education. Materials of the All-Russian scientific and practical conference. Kursk, 2020. pp. 14-16. URL: <http://www.elibrary.ru/jbbkpkz>.
4. Bachurina A.V., Zalesov S.V., Tolkach O.V. Efficiency of forest reclamation of disturbed lands in the zone of influence of copper smelting. Ecology and industry of Russia. 2020; 6: 67-71. DOI <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-6-67-71>.
5. GOST 17.5.1.02-85 "Nature protection. Land. Classification of disturbed lands for reclamation". URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003375>.

6. Dedenko T. P., Tikhonova E. N., Malinina T. A. (2024). Preservation and features of growth of forest crops on chalk-marl technogenic soils of the Kursk region. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 14, No. 2 (54), pp. 20-35 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/2>.

7. Kostina E. E., Akhmetova G. V., Pekkoev A. N., Kharitonov V. A., Kryshen A. M. Formation of vegetation cover during forest reclamation of a sand and gravel quarry in the Republic of Karelia. *Plant resources*. 2022; 3:290-310. DOI <https://doi.org/10.31857/S0033994622030074>.

8. Kushnir E. A., Nedbaev I. S., Treshchevskaya E. I. Assessment of the state of forest plantations and soil cover at the sites of reclamation of the Kingisepp phosphorite deposit // *Proceedings of the St. Petersburg Scientific Research Institute of Forestry*. 2021, No. 1. pp. 68-80. DOI 10.21178/2079-6080.2021.1.68.

9. Assessment of the water-physical properties of technogenic substrates during biological reclamation of KMA dumps / T. A. Malinina, I. V. Golyadkina, E. N. Tikhonova, T. P. Dedenko // *Forestry Journal*. – 2022. – Vol. 12. – № 1 (45). DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2022.1/4.

10. Mikhno V. B. Modern problems of physical geography and landscape studies / V. B. Mikhno, A. S. Gorbunov, O. P. Bykovskaya. Voronezh, 2020. 176 p. (in Russian). ISBN 978-5-9273-3063-8. URL: <https://www.elibrary.ru/hgqrws>.

11. Nedbaev I. S., Elsukova E. Yu. The study of world and Russian experience in the development of optimal ways of recultivation of disturbed lands. *The Eurasian Scientific Journal*, 13(6): 27NZVN621. URL: <https://esj.today/PDF/27NZVN621.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

12. Environmental protection in the Russian Federation in 2011, 2013, 2015, 2017, 2019 Statistical collection. M.: Rosstat of Russia.

13. Pavlenko D. I., Malaya M. S., Bashegurov K. A., Osipenko R. A., Belov L. A. The effectiveness of the forestry direction of reclamation of sand pits. *Forests of Russia and the economy in them*. 2022; 2(81): 19-26. DOI 10.51318/FRET.2022.44.46.003.

14. Pigorev I. Ya., Bulanova J. A. Afforestation of overburden dumps of the Kursk magnetic anomaly (KMA). Protection and rational use of forest resources : proceedings of the X International Forum, Heihe. Blagoveshchensk. 2019: 139-141. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38428959>.

15. Stifeev A. I., Nikitina O. V., Nagornaya O. V. The main directions of transformation of technozems into cultural landscapes. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2019; 3: 28-34. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38249929>.

16. Treshchevskaya E. I., Tikhonova E. N., Golyadkina I. V., Treshchevskaya S. V., Knyazev V. I. Karagana arborescens (*Caragana arborescens* Lam.) as a shrub species in the biological reclamation of man-made landscapes. *Forestry journal*. 2021; 3 (43):31-44. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.3/3>.

17. Yudina Yu. A. Land reclamation, environmental protection measures aimed at the fertility of disturbed lands // *Protection of biodiversity and environmental problems of nature management : collection of articles of the All-Russian (national) scientific and practical conference*. Penza, 2020. pp. 282-284. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43803793>.

18. Yakovlev A. S. Issues of environmental regulation and establishment of background values of soil properties of natural and natural-anthropogenic objects. *Soil Science: Journal of the Russian Academy of Sciences*. 2022; 2: 252-260. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X22020149>.

19. Dedenko T. P., Navalikhin S. V. Ecological aspect of the industrial soils' penetration resistance in wood cultivation of Kursk Magnetic Anomaly. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*; 2019; 226: 012024. DOI: 10.1088/1755-1315/226/1/.

20. Festin E.S., Tigabu M., Chileshe M.N. et al. Progresses in restoration of post-mining landscape in Africa. *J. For. Res*. 2019; 30: 381-396 DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0621-x>.

21. Pietrzykowski M. Tree species selection and reaction to mine soil reconstructed at reforested post-mine sites: Central and eastern European experiences. *Ecological Engineering*. 2019; 3: 100012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoena.2019.100012>.

22. Abandonment and recultivation of agricultural lands in Slovakia-patterns and determinants from the past to the future / Pazar R., Lieskovsky J., Burgi M., Muller D., Lieskovsky T., Zhang Z., Prischchepov A.V. Land. 2020. № 9. P. 316.

23. Kuznetsova I. V., Timofeeva S. S. Green technologies in land recultivation for coal mining enterprises // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. № 1(408). DOI: 10.1088/1755-1315/408/1/012075.

24. 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>.

25. 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>.

Сведения об авторах

✉ *Малинина Татьяна Анатольевна* – канд. с.-х. 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: <https://orcid.org/0000-0002-5967-3336>, e-mail: malinina15@yandex.ru.

Тихонова Елена Николаевна – канд. биол. 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.

Голядкина Инна Вячеславовна – канд. с.-х. 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, <https://orcid.org/0000-0002-4532-3810>, e-mail: nina1818@yandex.ru.

Деденко Татьяна Петровна – канд. с.-х. 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. (Agric.), associate professor, Landscape Architecture and Soil Science Department, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazeva str., Voronezh, 394087, Russian Federation, e-mail: malinina15@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5967-3336>.

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

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

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

✉ Для контактов | Corresponding author