

ПЫЛЕУДЕРЖИВАЮЩИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА ПОРОДНЫХ ОТВАЛАХ ДОНБАССА

© 2024. Д.А. Достовалова, А.З. Глухов, Н.С. Подгородецкий

Проведена сравнительная оценка пылевой нагрузки некоторых озелененных и самозаросших отвалов Донецко-Макеевской городской агломерации и территории их СЗЗ по накоплению пыли листовых пластинок *Acer negundo* L., *Acer platanoides* L., *Robinia pseudoacacia* L. как аборигенных видов, характеризующихся высокой пылефильтрующей способностью и распространившихся на отвалах, представленных различным составом слагающих пород и *Juglans regia* L. как самозаносного вида, пылеудерживающие свойства которого не изучены.

В ходе исследований установлено, что *Robinia pseudoacacia* L. имеет самые высокие пылеудерживающие свойства из всех исследованных растений, а самые низкие – *Juglans regia* L. Наиболее запыленными являются листья древесных растений породного отвала ш. № 9 Капитальная ввиду больших участков каменистой перегоревшей породы. Предполагается, что на данном отвале еще активны процессы окисления. Для *Robinia pseudoacacia* L., *Acer platanoides* L. и *Acer negundo* L. показатели пылевой нагрузки на отвалах превышают показатели в СЗЗ в среднем в 1,15 раза, а для *Juglans regia* L. – в 3 раза. Хотя зачастую *Juglans regia* L. не используется для рекультивации породных отвалов, он скорее всего является самозаносным видом.

Проведенные мероприятия по технической и биологической рекультивации способствуют снижению пылевой нагрузки территории.

Ключевые слова: шахтный породный отвал, Донецко-Макеевская городская агломерация, пылеудерживающие свойства, пылевая нагрузка

Введение. Выветривание горных пород сопровождается образованием частиц крупно- и мелкодисперсной пыли, рассеивающейся в атмосферном воздухе в сухом виде и смываемой атмосферными осадками. Биологическая рекультивация шахтных породных отвалов проводится с использованием растений с повышенной пылефильтрующей способностью – тополь бальзамический, акация белая, лиственница Сукачева, сосна обыкновенная, клен остролистный и др. [1, 2].

Листья древесных растений задерживают до 40 % от валового количества выпавшей пыли, что составляет 1,2 ... 3,2 г/м² листовой поверхности [1]. Загрязнение приземной атмосферы пылью также является существенным деградирующим условием по отношению к окружающей среде и растениям. В районе расположения урбаноземов, урбанотехноземов, реплантоземов наблюдается повышение значений поврежденности листьев деревьев и кустарников в сравнении с другими территориями. В районах расположения этих типов почвогрунтов установлены положительные корреляционные зависимости на среднем и высоком уровне [2].

В результате исследований Демиденко Г.А. установлено, что показатели накопления пыли на листовых пластинках города Красноярска показывают взаимосвязь между содержанием этих элементов и уровнем антропогенного загрязнения [3].

Установлено, что в тренде эффективности по пылеулавливанию на территории Донбасса виды растений первой категории расположены в следующем списке: *Acer negundo*, *Acer platanoides*, *Betula Pendula* и *Robinia pseudoacacia*. [4].

Древесные и кустарниковые виды растений являются эффективным фильтром, который обладает способностью осаждавать находящиеся в воздухе твердые частицы пыли и сажи, а также поглощать из воздуха и частично усваивать газообразные

примеси. Учеными доказано, что 1 га зеленых насаждений очищает из воздуха до 60–70 т пыли в год, уменьшая ее концентрацию на 25–45 % [5].

Первоначальным этапом исследований может выступать определение количества пыли на площади одного конкретного листа и ее процентное соотношение. Имея выборку листьев с одного дерева и площадь посадки конкретного вида можно определить пылевую нагрузку на отдельную территорию.

Целью исследования является сравнительная оценка пылевой нагрузки некоторых озелененных и самозаросших отвалов Донецко-Макеевской городской агломерации и территории их СЗЗ по накоплению пыли листовых пластинок *Acer negundo* L., *Acer platanoides* L., *Robinia pseudoacacia* L. как аборигенных видов, характеризующихся высокой пылефильтрующей способностью и распространившихся на отвалах, представленных различным составом слагающих пород и *Juglans regia* L. как самозаносного вида, пылеудерживающие свойства которого не изучены.

По данным Госкомэкополитики при Главе ДНР на территории Республики насчитывается около 600 породных отвалов, большинство из которых расположены на административных территориях городов Донецк (144), Макеевка (118), Шахтерск (69) и Торез (67). Техногенная нагрузка в Донбассе в 5–10 раз выше средней. Общая площадь техногенных объектов на территории некоторых городов области достигает 10 % и более от их площади.

В работе проводятся сравнительные исследования пылевой нагрузки озелененных и самозаросших отвалов Донецко-Макеевской городской агломерации в пределах санитарно-защитной зоны (СЗЗ). Практически от всех отвалов на расстоянии 500 м находятся жилые и производственные объекты.

В качестве модельных выбраны следующие породные отвалы шахт: озелененный отвал бывш. 6/14 (Червоногвардейский район, г. Макеевка), озелененный отвал ш. 5/6 им. Димитрова (Калининский район, г. Донецк), озелененный отвал ш. Заперевальная (Буденновский район, г. Донецк) и самозаросший отвал ш. № 9 Капитальная (Пролетарский район, г. Донецк).

Отвалы на данный момент являются потухшими без имеющихся очагов горения. Возраст отвалов примерно одинаковый – 45–60 лет. Температура в тени и под кронами деревьев составляет 20–22 °С, на местах попадания солнечных лучей – до 30 °С (замеры проводились в мае 2024 года). Породы на отвалах слабовыветренная, состоит из обломков породы разных размеров. Содержание фракции менее 1 мм от 11 до 27 %. Отвалы находятся в стадии окисления и массового поселения растений.

Отвал ш. 5/6 имеет наибольший возраст среди исследованных отвалов (57 лет) с окончания эксплуатации, что предположительно и обуславливает самые низкие показатели запыленности ввиду максимальной выветренности породы. Отвал ш. Заперевальная заселен растениями только на половину, верхняя часть его является окисляемой и перегоревшей, возможно это влияет на высокий уровень пыли на листьях растений, находящихся на уровнях ниже. Отвал ш. 6/14 также имеет окаменевшие остатки перегоревшей породы. Отвал ш. № 9 Капитальная является практически полностью заросшим, но фракция на многих участках представляет собой в большей степени породу, чем почвенный субстрат.

В ходе исследования применялись обзорный, аналитический, натурный и экспериментальный методы.

Отбор проб растительного материала производился в несколько этапов в июне, июле и августе 2024 года в пределах определенной площадки (около 25 м²), с высоты 1,5–2 м (высота слоя воздуха, вдыхаемого человеком) в 10 кратной повторности в соответствии с установленной методикой [6].

Площадки отбора ориентированы на разных уровнях породного отвала, а также в пределах СЗЗ.

Площадь листа высчитывалась путем обмера листовых пластинок вдоль и поперек и умножения на коэффициент. Коэффициент колеблется для различных видов древесных растений от 0,60 до 0,66. Масса пыли рассчитывается как разница между вторым и первым взвешиванием в мг. Количество пыли определяется как соотношение массы пыли к площади листовой пластинки в мг на 1 см² листа. [7].

Результаты исследований представлены в табл. 1–4.

Таблица 1

Результаты определения пылевой нагрузки отвалов Донецко-Макеевской агломерации по накоплению пыли листовыми пластинками *Robinia pseudoacacia* L.

Отвал	Масса пыли, мг, с 1 листовой пластинки на отвале	Количество пыли на листовой пластинке, мг/см ² , на отвале	Масса пыли, мг, с 1 листовой пластинки в СЗЗ	Количество пыли на листовой пластинке, мг/см ² , в СЗЗ
Ш. 6/14	6,8	0,24	6,4	0,28
Ш. 5/6 им. Димитрова	4,2	0,14	3,8	0,28
Ш. Запореваляная	3,07	0,2	2,9	0,24
Ш. № 9 Капитальная	3,2	0,27	2,8	0,32

Таблица 2

Результаты определения пылевой нагрузки отвалов Донецко-Макеевской агломерации по накоплению пыли листовыми пластинками *Acer negundo* L.

Отвал	Масса пыли, мг, с 1 листовой пластинки на отвале	Количество пыли на листовой пластинке, мг/см ² , на отвале	Масса пыли, мг, с 1 листовой пластинки в СЗЗ	Количество пыли на листовой пластинке, мг/см ² , в СЗЗ
Ш. 6/14	0,63	0,19	0,5	0,25
Ш. 5/6 им. Димитрова	1,02	0,27	1,03	0,17
Ш. Запореваляная	0,48	0,096	0,38	0,06
Ш. № 9 Капитальная	1,2	0,024	1,0	0,02

Таблица 3

Результаты определения пылевой нагрузки отвалов Донецко-Макеевской агломерации по накоплению пыли листовыми пластинками *Acer platanoides* L.

Отвал	Масса пыли, мг, с 1 листовой пластинки на отвале	Количество пыли на листовой пластинке, мг/см ² , на отвале	Масса пыли, мг, с 1 листовой пластинки в СЗЗ	Количество пыли на листовой пластинке, мг/см ² , в СЗЗ
Ш. 6/14	0,52	0,8	0,51	0,8
Ш. 5/6 им. Димитрова	0,38	0,5	0,38	0,55
Ш. Запореваляная	0,48	0,41	0,48	0,3
Ш. № 9 Капитальная	1,04	1,11	0,92	0,96

Таблица 4

Результаты определения пылевой нагрузки отвалов Донецко-Макеевской агломерации по накоплению пыли листовыми пластинками *Juglans regia* L.

Отвал	Масса пыли, мг, с 1 листовой пластинки на отвале	Количество пыли на листовой пластинке, мг/см ² , на отвале	Масса пыли, мг, с 1 листовой пластинки в СЗЗ	Количество пыли на листовой пластинке, мг/см ² , в СЗЗ
Ш. 6/14	3,9	3,3	3,7	1,6
Ш. 5/6 им. Димитрова	0,8	0,3	0,3	0,13
Ш. Запореваляная	3,2	1,9	3,18	1,04
Ш. № 9 Капитальная	0,08	0,025	0,048	0,015

В ходе статистической обработки результатов исследований установлено, что для *Robinia pseudoacacia* L. количество пыли составляет в среднем $0,21 \text{ мг/см}^2$ (стандартное отклонение составляет $0,056 \text{ мг/см}^2$), а в пределах СЗЗ – до $0,28 \text{ мг/см}^2$ (стандартное отклонение составляет $0,033 \text{ мг/см}^2$). Разность между двумя средними значениями этих двух зависимых групп составляет $0,067 \text{ мг/см}^2$ (стандартное отклонение – $0,049 \text{ мг/см}^2$). Значение t-критерия Стьюдента составляет 2,78. Различия в количестве оседаемой пыли на отвале и СЗЗ статистически достоверны на высоком уровне значимости ($p = 0,069$). Так как рассчитанное значение критерия больше критического (для 4 степеней свободы значение t-критерия Стьюдента составляет 2,77), делаем вывод о том, что наблюдаемые различия статистически значимы.

Для *Acer negundo* L. количество пыли составляет в среднем $1,69 \text{ мг/см}^2$ (стандартное отклонение составляет 3 %), а в пределах СЗЗ – до $0,17 \text{ мг/см}^2$ (стандартное отклонение составляет $0,08 \text{ мг/см}^2$). Разность между двумя средними значениями этих двух зависимых групп составляет $1,52 \text{ мг/см}^2$ (стандартное отклонение – $2,9 \text{ мг/см}^2$). Значение t-критерия Стьюдента составляет 1,01 ввиду высокой варьированности полученных показателей. Для *Acer platanoides* L. количество пыли составляет в среднем $0,71 \text{ мг/см}^2$ на отвале (стандартное отклонение составляет $0,32 \text{ мг/см}^2$), а в пределах СЗЗ – до $0,65 \text{ мг/см}^2$ (стандартное отклонение составляет $0,29 \text{ мг/см}^2$). Разность между двумя средними значениями этих двух зависимых групп составляет $0,05 \text{ мг/см}^2$ (стандартное отклонение – $0,09 \text{ мг/см}^2$). Значение t-критерия Стьюдента составляет 1,13 ввиду высокой варьированности полученных показателей. Пылевая нагрузка на отвале № 9 Капитальная значительно превышает нагрузку в его СЗЗ и является максимальной среди рассмотренных отвалов, что требует дальнейших исследований с целью выявления способствующих факторов влияния.

Для *Juglans regia* L. количество пыли составляет в среднем $1,4 \text{ мг/см}^2$ (стандартное отклонение составляет $0,52 \text{ мг/см}^2$), а в пределах СЗЗ – до $0,69 \text{ мг/см}^2$ (стандартное отклонение составляет $0,76 \text{ мг/см}^2$). Разность между двумя средними значениями этих двух зависимых групп составляет $0,69 \text{ мг/см}^2$ (стандартное отклонение – $0,77 \text{ мг/см}^2$). Значение t-критерия Стьюдента составляет 1,78. Различия в количестве оседаемой пыли на отвале и СЗЗ статистически достоверны на высоком уровне значимости ($p = 0,17$).

Выводы. В ходе исследований установлено, что *Robinia pseudoacacia* L. имеет самые высокие пылеудерживающие свойства из всех исследованных растений, а самые низкие – *Juglans regia* L. Наиболее запыленными являются листья древесных растений породного отвала ш. № 9 Капитальная ввиду больших участков каменистой перегоревшей породы. Предполагается, что на данном отвале еще активны процессы окисления. Для *Robinia pseudoacacia* L., *Acer platanoides* L. и *Acer negundo* L. показатели пылевой нагрузки на отвалах превышают показатели в СЗЗ в среднем в 1,15 раза, а для *Juglans regia* L. – в 3 раза. Хотя зачастую *Juglans regia* L. не используется для рекультивации породных отвалов, он скорее всего является самозаносным видом.

На отвале бывш. ш. 6/14 пылевая нагрузка превышена в 3 раза по сравнению с нормой и в 2 раза наблюдается превышение нормативов в пределах СЗЗ.

На отвале ш. 5/6 им. Димитрова пылевая нагрузка превышена в 10 раз по сравнению с нормой и в 2 раза наблюдается превышение нормативов в пределах СЗЗ.

На отвале ш. Запорева пылевая нагрузка превышена в 3 раза по сравнению с нормой и в 3 раза наблюдается превышение нормативов в пределах СЗЗ.

На отвале ш. № 9 Капитальная пылевая нагрузка превышена в 30 раз по сравнению с нормой и в 10 раз наблюдается превышение нормативов в пределах СЗЗ.

Проведенные мероприятия по технической и биологической рекультивации способствуют снижению пылевой нагрузки территории.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБНУ Донецкий ботанический сад по теме FREG-2023-0002 «Качественные и функциональные характеристики почв сельскохозяйственных угодий в степной зоне и пути восстановления их биологической продуктивности», № 123101300198-3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронцова Д.С. Специфичность пылеосаждения травянистыми растениями в промышленно развитом Донбассе // Экология родного края: проблемы и пути их решения / Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Книга 2 – Киров, 2022. – С. 210-213.
2. Злотникова Т.В., Пахомова Д.И. Пылеулавливающая способность листьев различных древесных пород, используемых в насаждениях // Синтез науки и общества в решении глобальных проблем современности: Сборник статей Международной научно-практической конференции. – Абакана, 2023. – С. 5-8.
3. Чернышенко О.В. Пылефильтрующая способность древесных растений // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – Москва, 2012. – С. 7-10.
4. Ларионов М.В. Факторы деградации почв и атмосферного воздуха и их влияние на состояние растений в городских и пригородных экосистемах // Самарский научный вестник. – Т. 9, № 2 (31). – Самара, 2020. – С. 78–85.
5. Демиденко Г.А. Интенсивность загрязнения листьев древесных растений города Красноярска // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. – Улан-Удэ, 2021. – № 4(65). – С. 123–130.
6. Складорова С.В. Пылеулавливающая эффективность древесных и кустарниковых растений в промышленном городе Донбасса // Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности / Материалы V Международной научной конференции. – Том 2. – Под общей редакцией С.В. Беспаловой. – Донецк, 2020. – С. 257-259.
7. Жумадилова А.Ж. Пылеудерживающая способность древесных и кустарниковых растений // Новости науки Казахстана. – Алматы, 2014. – № 2(120). – С. 38 - 48.
8. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. – М.: Гидромет, 1981. – 108 с.
9. Методы биохимического анализа растений. – Л.: ЛГУ, 1978. – 280 с.

Поступила в редакцию 29.08.2024 г.

DUST-RETAINING PROPERTIES OF WOODY PLANTS ON THE ROCK DUMPS OF DONBASS

D.A. Dostovalova, A.Z. Glukhov, N.S. Podgorodetsky

A comparative assessment of the dust load of some landscaped and self-overgrown dumps of the Donetsk-Makeyevka urban agglomeration and the territory of their SPZ was carried out on the accumulation of dust from leaf plates *Acer negundo* L., *Acer platanoides* L., *Robinia pseudoacacia* L. as native species characterized by high dust-filtering ability and spread on dumps represented by different composition of composing rocks and *Juglans regia* L. as a self-bearing species, the dust-retaining properties of which have not been studied.

During the research, it was found that *Robinia pseudoacacia* L. has the highest dust-retaining properties of all the studied plants, and the lowest - *Juglans regia* L. The leaves of woody plants of the rock dump sh. No. 9 Kapitalnaya are the dustiest due to large areas of stony burnt-out rock. It is assumed that the oxidation process is still active at this dump. For *Robinia pseudoacacia* L., *Acer platanoides* L. and *Acer negundo* L., the dust load indicators on the dumps exceed those in the SPZ by an average of 1.15 times, and for *Juglans regia* L. – 3 times. Although often *Juglans regia* L. it is not used for the reclamation of rock dumps, it is most likely a self-bearing species.

The measures taken for technical and biological reclamation contribute to reducing the dust load of the territory.

Keywords: mine rock dump, Donetsk-Makeyevskaya urban agglomeration, dust-retaining properties, dust load.

Достовалова Дарья Александровна
аспирант, младший научный сотрудник
научно-исследовательской лаборатории
экологической информатики и моделирования
ФГБНУ «Донецкий ботанический сад»,
г. Донецк, ДНР, РФ.
E-mail: dasha.dostovalova1997@mail.ru

Глухов Александр Захарович
доктор биологических наук, профессор,
главный научный сотрудник
ФГБНУ «Донецкий ботанический сад»,
г. Донецк, ДНР, РФ.
E-mail: glukhov.az@mail.ru

Подгородецкий Николай Сергеевич
кандидат технических наук, доцент
кафедры техносферной безопасности
ФГБОУ ВО «Донбасская национальная
академия строительства и архитектуры»,
г. Макеевка, ДНР, РФ.
E-mail: n.s.podgorodetskiy@donnasa.ru

Dostovalova Daria Alexandrovna
Postgraduate student, Junior Researcher
at the Research Laboratory
of Environmental Informatics and
Modeling,
Donetsk Botanical Garden,
Donetsk, DPR, RF.

Glukhov Alexander Zakharovich
Doctor of Biological Sciences, Professor,
Chief Researcher,
Donetsk Botanical Garden,
Donetsk, DPR, RF.

Podgorodetsky Nikolas Sergeevich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
of the Department of Technosphere Safety,
Donbass National Academy of Civil engineering and
Architecture,
Makeyevka, DPR, RF.