

© Д. А. Достовалова¹, А. З. Глухов¹, Н. С. Подгородецкий²**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВИДОВ УРБАНОДЕНДРОФЛОРЫ В УСЛОВИЯХ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ДОНБАССА**¹ФГБНУ Донецкий ботанический сад

Россия, 283023, ДНР, г. Донецк, пр. Ильича, 110

²ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Россия, 286123, ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2

Достовалова Д. А., Глухов А. З., Подгородецкий Н. С. Функциональные возможности видов урбанодрендрологии в условиях породных отвалов угольных шахт Донбасса. – Проведен анализ состояния древесных насаждений и спонтанной растительности на шахтных породных отвалах в городской черте Донецка и Макеевки. Определены коэффициенты биологического поглощения и захвата химических элементов из группы тяжелых металлов, как наиболее опасных породных загрязнителей для здоровья населения. Показана эффективность использования представителей урбанодрендрологии для оптимизации экологического состояния техногенных территорий. Обоснована модель наименее затратного и результативного решения проблемы социально-экологической безопасности шахтных породных отвалов.

Ключевые слова: экосистема, шахтный породный отвал, коэффициент биологического поглощения.

Введение

Одними из основных источников экологической опасности в ДНР, как антропогенно трансформированном макрорегионе, являются в первую очередь породные отвалы угольных шахт. Их негативное воздействие на окружающую среду определяется рядом факторов: изъятием из сельскохозяйственного пользования территорий с плодородными почвами, загрязнением атмосферного воздуха продуктами горения и пылевыми частицами, смывом породы с поверхности отвалов с последующим засолением почв близлежащих территорий, комплексным поражением всей биоты и других компонентов окружающей среды.

Проблема адекватной оценки экологического риска тесно связана со многими другими экологическими и экономическими проблемами: финансированием экологических исследований и природоохранных мероприятий, экологическим страхованием и другими [6, 7, 9, 12–15]. Рост угледобычи и увеличение объемов с одной стороны являются экономически прибыльными и ведут к пополнению местных бюджетов, с другой стороны ограничивают возможности развития человеческого потенциала, что выражается в увеличении заболеваемости и смертности, снижении продолжительности жизни, что, в свою очередь, приводит к ухудшению качества жизни и благосостояния населения и в целом к уменьшению индекса человеческого развития.

В системе социально-гигиенического мониторинга экологическим риском считается потенциальная опасность для здоровья отдельной личности, группы лиц, части населения или населения региона в целом, возникающая или ожидаемая в связи с неблагоприятным воздействием отдельных факторов окружающей среды [1], что определяет территорию Донецкой Народной Республики (Донбасса) как зону экологического риска.

Одним из направлений по обеспечению устойчивого развития и повышению инвестиционной привлекательности ДНР как промышленного макрорегиона может выступать разработка комплекса мероприятий по минимизации неблагоприятного воздействия на окружающую среду и здоровье населения.

Для улучшения экологической обстановки в регионе необходимо проведение дифференцированных мероприятий, разработанных на основе мониторинговых исследований и направленных на снижение выбросов продуктов горения (в том числе

парниковых газов) и пылевидных частиц с поверхности отвалов, которые являются основным фактором, определяющим загрязнение всех компонентов окружающей среды и оказывающими воздействие на здоровье населения.

Цель исследований – анализ состояния древесных насаждений и спонтанной растительности на шахтных породных отвалах в городской черте Донецка и Макеевки, а также оценка эффективности использования представителей урбанодендрофлоры для оптимизации экологического состояния техногенных территорий.

Материал и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны угольные отвалы, находящиеся в черте городов Донецкой Народной Республики (Донецк, Макеевка).

По данным ряда научных исследований техногенная нагрузка в ДНР в 5–10 раз выше средней. Общая площадь техногенных объектов на территории некоторых городов достигает 10 % и более от их площади [8, 10, 11].

В 2024 году был произведен отбор проб породного субстрата и растительного материала на 3 озелененных породных отвалах ДНР: шахты бывшей 6/14 (г. Макеевка), шахты 5/6 имени Димитрова и шахты Заперевальная (г. Донецк) и 1 самозаросшем плоском породном отвале шахты № 9 Капитальная (г. Донецк) (рис.).

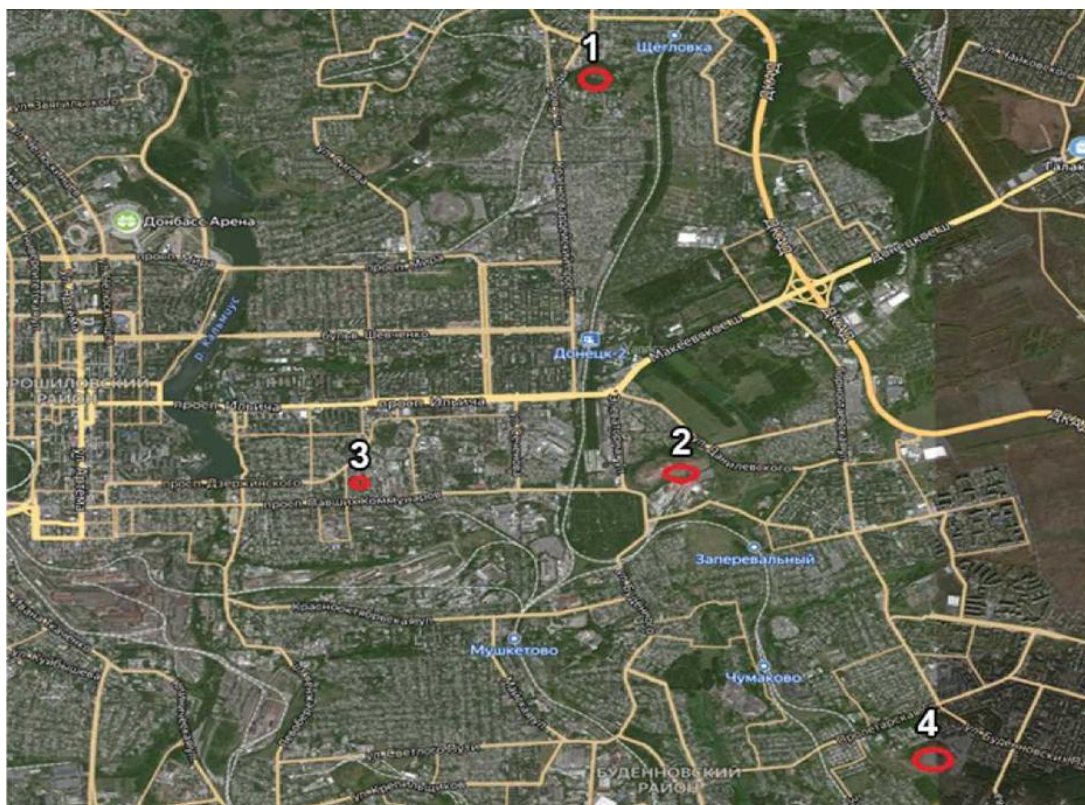


Рис. Картосхема точек отбора проб субстрата и растительного материала:

1 – отвал бывшей шахты 6/14; 2 – отвал шахты Заперевальная; 3 – отвал шахты 5/6 им. Димитрова;
4 – отвал шахты № 9 Капитальная

В настоящее время очаги горения на отвалах отсутствуют. Возраст отвалов примерно одинаковый – 45–60 лет. Температура в тени и под кронами деревьев составляет 20–22 °С, в местах попадания солнечных лучей – до 30 °С (измерения проводились в мае 2024 г.). Порода на отвалах слабо вентилируемая, состоит из фрагментов породы разного размера. Содержание фракции менее 1 мм составляет от 11 до 27 %. Отвалы находятся в стадии окисления и массового поселения растений.

Отвал шахты 5/6 имеет самый высокий возраст среди исследованных отвалов (57 лет) с момента окончания эксплуатации, что, по-видимому, является причиной самого низкого

уровня запыленности из-за максимального выветривания породы. Отвал шахты Заперевальная заселен растениями только наполовину, верхняя его часть подвержена окислению и выгоранию, возможно, это влияет на высокий уровень запыленности листьев растений, расположенных на нижних уровнях. На отвале шахты 6/14 также обнаружены окаменелые остатки сгоревшей породы. Отвал шахты № 9 Капитальная почти полностью зарос, но во многих местах его слагают более окаменевшие остатки породы, чем почвенный субстрат.

Отбор проб листьев проводили методом средней пробы в нижней части кроны деревьев с внешней ее стороны (по окружности) согласно методическим указаниям по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства [11].

Для учета накопления металлов в условиях городской среды брали образцы за основной период вегетации (июнь–август). Отбирали листья с ветвей 1–2-го года жизни на расстоянии 2–3 м от поверхности грунта. Далее пробы промывали трижды проточной и дважды – дистиллированной водой и доводили до воздушно-сухого состояния. Также был проведен лабораторный анализ пламенным атомно-абсорбционным методом на базе Министерства природных ресурсов и экологии ДНР. Важным показателем биогенной миграции является коэффициент биологического поглощения, предложенный Б. Б. Польшовым [16]. Он характеризует интенсивность поглощения элемента растением и рассчитывается как отношение содержания химического элемента в золе растения к его содержанию в почве или в горной породе.

Коэффициент биологического поглощения древесных растений (КБП) рассчитывается по формуле:

$$\text{КБП} = \frac{C_p}{C_n} \quad (1)$$

где C_p – соотношение содержания элемента в надземной части растения, мг/кг;

C_n – валовое содержание элемента в почве, мг/кг.

Исследуемыми видами древесных растений являлись *Robinia pseudoacacia* L., *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L., *Juglans regia* L., *Acer negundo* L. Авторами была выбрана для изучения нижняя треть южного склона каждого отвала, где можно было встретить каждый из вышеперечисленных видов растений.

Результаты и обсуждение

Результаты расчетов валового содержания металлов в субстрате озелененных породных отвалов представлены в таблице.

Таблица

Валовое содержание металлов в субстрате озелененных отвалов, мг/кг

Отвал	Элемент											
	Cd	Cu	Ni	Co	Pb	Zn	Fe	Cr	K	Mg	Na	Mn
ш. 6/14	1,6	20,3	26,9	9,7	55,1	118,4	22918,9	3,2	4522,3	349,6	463,5	214,0
ш. 5/6 им. Димитрова	1,7	45,8	43,1	8,6	42,4	164,3	26030,1	19,0	3577,4	3882,6	542,6	388,2
ш. Заперевальная	0,017	57,3	42,2	0,1	53,9	190,2	24190,3	19,2	3218,8	4906,9	309,7	225,9
ш. № 9 Капитальная	0,016	46,7	42,0	0,2	171,0	123,3	22636,3	16,3	2284,0	4553,1	132,6	402,3
ПДК	2,0	132,0	80,0	5,0	130,0	220,0	0,5	6,0	–	–	–	1500,0

Для металлов класса опасности 1:

Содержание Cd находится в пределах приблизительной допустимой концентрации в породе всех исследованных отвалов.

Превышение предельно допустимой концентрации Pb наблюдается только в субстрате ш. № 9 Капитальная, что, предположительно, связано с найденной щелочной батареей.

Превышение концентрации Zn не наблюдается.

Для металлов 2-го класса опасности:

Превышение примерной допустимой концентрации по Cu не наблюдается.

Превышение допустимой концентрации Co не наблюдается на отвалах ш. № 9 Капитальная и ш. Заперевальная. Превышение в 3 раза наблюдается в породе горящих отвалов. На отвалах ш. 6/14 и 5/6 им. Димитрова – в 1,7–1,9 раза. На отвалах наблюдается снижение содержания в субстрате кобальта, соответственно, кобальт усваивается растениями.

По Cr превышения не наблюдается только в субстрате ш. 6/14, в остальных отвалах – от 2 до 3 долей предельно допустимой концентрации. Cr плохо усваивается растениями. Основным фактором накопления этого элемента в осадочных породах является наличие глинистых частиц и органического вещества.

Для Ni в субстрате отвалов также превышения не наблюдается.

По Fe зашкаливающие показатели наблюдаются во всех отвалах. Причиной данного явления может быть длительное выветривание или метаморфоз. Благодаря этим процессам образуются железистые кварциты, которые могут содержать много железа.

Для металлов 3-го класса опасности:

По Mn превышение приблизительной допустимой концентрации не наблюдается.

Для металлов 4-го класса опасности:

Превышение предельно допустимой концентрации K от 6 до 12 фракций наблюдается на всех отвалах. Предположительно, высокое содержание калия в породе связано с активным выветриванием всех отвалов.

Приблизительные стандарты для содержания Na, K и Mg не установлены. Натрий и калий являются основными компонентами силикатных пород.

На основе изучения по вариантам лизиметрического эксперимента коэффициентов биологического поглощения изучаемых металлов для каждого древесного растения были построены эмпирические ряды их накопления.

Соответственно, ряды биологического поглощения элементов *R. pseudoacacia* будут иметь вид:

Отвал ш. 6/14: K (4,65) > Mg (4,34) > Ni (1,30) > Cd (1,05) > Pb (1,00) > Cu (0,9) > Mn (0,60) > Na (0,53) > Zn (0,46) > Co (0,58) > Cr (0,085) > Fe (0,0090).

Отвал ш. 5/6 им. Димитрова: K (3,17) > Cu (2,0) > Pb (1,90) > Cr (1,05) > Mg (0,96) > Ni (0,95) > Cd (0,84) > Zn (0,67) > Mn (0,64) > Na (0,49) > Co (0,38) > Fe (0,0037).

Отвал ш. Заперевальная: K (3,72) > Cr (3,20) > Ni (1,55) > Cd (1,05) > Zn (1,00) > Na (0,99) > Mg (0,89) > Co (0,90) > Pb (0,88) > Cu (0,67) > Mn (0,15) > Fe (0,010).

Отвал ш. № 9 Капитальная: K (7,28) > Na (3,32) > Cd (2,05) > Ni (2,03) > Cu (1,05) > Zn (0,78) > Pb (0,75) > Mg (0,58) > Cr (0,53) > Mn (0,14) > Co (0,12) > Fe (0,0044).

Группа биологического накопления токсикантов включает: K, Cd, Cu, Pb, Ni, Cr.

Группа биологического захвата: Mg, Mn, Na, Zn, Co, Fe.

Для *Q. robur* ряды биологического поглощения элементов будут иметь следующий вид:

Отвал ш. 6/14: Pb (2,00) > Cu (1,80) > K (1,67) > Na (1,57) > Cr (0,90) > Cd (0,90) > Ni (0,80) > Mg (0,76) > Co (0,58) > Zn (0,32) > Mn (0,69) > Fe (0,025).

Отвал ш. 5/6 им. Димитрова: Cu (1,95) > K (1,78) > Pb (1,46) > Cd (1,15) > Na (1,34) > Zn (1,15) > Ni (1,13) > Mg (1,12) > Co (0,93) > Mn (0,69) > Cr (0,13) > Fe (0,018).

Отвал ш. Заперевальная: Cu (2,00) > K (1,50) > Zn (1,35) > Cr (1,20) > Pb (1,18) > Cd (1,00) > Na (0,96) > Ni (0,95) > Mg (0,91) > Mn (0,43) > Co (0,15) > Fe (0,0075).

Отвал ш. № 9 Капитальная: Zn (1,83) > Pb (1,65) > Cu (1,55) > Na (1,48) > Ni (1,40) > K (0,90) > Co (0,45) > Cr (0,45) > Mn (0,38) > Mg (0,28) > Fe (0,021).

Группа биологического накопления токсикантов включает: Pb, Cu, K, Na, Zn, Ni, Cd.

Группа биологического захвата: Mg, Mn, Co, Cr, Fe.

Для *A. platanoides* ряды биологического поглощения элементов будут иметь следующий вид:

Отвал ш. 6/14: К (5,12) > Cr (2,75) > Pb (2,18) > Mg (1,75) > Na (1,74) > Cd (1,64) > Zn (1,24) > Ni (1,16) > Co (0,91) > Mn (0,58) > Cu (0,50) > Fe (0,019).

Отвал ш. 5/6 им. Димитрова: К (4,98) > Cr (2,42) > Pb (1,89) > Cd (1,80) > Na (1,36) > Zn (1,17) > Mg (0,90) > Cu (0,85) > Ni (0,82) > Co (0,28) > Mn (0,10) > Fe (0,045).

Отвал ш. Заперевальная: К (3,80) > Pb (1,73) > Cr (1,62) > Cd (1,46) > Na (1,39) > Mg (1,16) > Mn (0,94) > Zn (0,84) > Cu (0,75) > Co (0,34) > Ni (0,72) > Fe (0,089).

Отвал ш. № 9 Капитальная: К (4,18) > Na (2,15) > Cr (1,97) > Cd (1,93) > Pb (1,92) > Cu (1,10) > Zn (0,97) > Mg (0,84) > Co (0,80) > Ni (0,35) > Mn (0,35) > Fe (0,062).

Группа биологического накопления токсикантов включает: К, Cr, Pb, Cd, Na, Cd, Mg, Zn.

Группа биологического захвата: Mn, Fe, Co, Cu, Ni.

Для *J. regia* ряды биологического поглощения элементов будут иметь следующий вид:

Отвал ш. 6/14: К (5,12) > Cd (2,18) > Ni (1,85) > Zn (1,83) > Na (1,80) > Mg (1,46) > Pb (1,23) > Cu (1,03) > Mn (0,85) > Co (0,84) > Cr (0,43) > Fe (0,0075).

Отвал ш. 5/6 им. Димитрова: К (7,80) > Cd (2,65) > Mg (1,72) > Na (1,53) > Zn (1,52) > Co (1,10) > Cu (0,94) > Mn (0,92) > Ni (0,90) > Pb (0,84) > Cr (0,72) > Fe (0,0024).

Отвал ш. Заперевальная: К (3,73) > Cd (2,59) > Na (1,93) > Zn (1,85) > Co (1,79) > Cu (1,37) > Mg (0,98) > Mn (0,73) > Pb (0,65) > Ni (0,63) > Cr (0,15) > Fe (0,023).

Отвал ш. № 9 Капитальная: К (3,26) > Zn (1,92) > Cd (1,85) > Co (1,53) > Ni (1,48) > Cu (1,18) > Na (1,05) > Cr (1,04) > Pb (0,91) > Mg (0,86) > Mn (0,62) > Fe (0,073).

Группа биологического накопления токсикантов включает: К, Cd, Ni, Zn, Na, Cu.

Группа биологического захвата: Fe, Mn, Co, Mg, Cr.

Для *A. negundo* ряды биологического поглощения элементов будут иметь следующий вид:

Отвал ш. 6/14: Na (2,10) > Cr (1,90) > Cu (1,83) > Mg (1,58) > Pb (1,04) > Zn (1,03) > Cd (0,96) > Ni (0,82) > Co (0,73) > K (0,72) > Mn (0,51) > Fe (0,075).

Отвал ш. 5/6 им. Димитрова: К (1,64) > Na (1,57) > Cr (1,43) > Ni (1,12) > Mn (1,10) > Cu (1,04) > Cd (1,01) > Zn (0,84) > Pb (0,82) > Co (0,58) > Mg (0,15) > Fe (0,0090).

Отвал ш. Заперевальная: Cr (2,00) > K (1,83) > Na (1,12) > Cu (1,07) > Co (0,95) > Mn (0,92) > Pb (0,79) > Ni (0,69) > Cd (0,54) > Zn (0,48) > Mg (0,29) > Fe (0,018).

Отвал ш. № 9 Капитальная: Na (1,95) > Ni (1,93) > Cu (1,65) > Cr (1,35) > K (1,21) > Cd (0,73) > Mn (0,68) > Pb (0,65) > Zn (0,36) > Co (0,28) > Mg (0,06) > Fe (0,062).

Группа биологического накопления токсикантов включает: Na, Cr, Cu, Mg, Pb, Zn, K, Na, Ni.

Группа биологического захвата: Mn, Fe, Co.

Анализ данных экспериментов и расчетов показал, что различные породные отвалы, отличающиеся химическим составом слагающих пород, местом расположения, сроком эксплуатации, размерами и другими параметрами оказали влияние на значения коэффициентов биологического поглощения изучаемых элементов для всех представленных видов древесных растений. Лучшими свойствами к накоплению К, Cd, Cu обладает *R. pseudoacacia*, *Q. robur* накапливает Cu, Pb, Zn, *A. platanoides* – К, Cr, Cd, *J. regia* – К, Cd, Zn, *A. negundo* – Na, К, Cr.

Выводы

Наблюдается тенденция повторяемости элементов, попавших как в группу биологического поглощения, так и в группу биологического захвата. Лидирующими и наиболее легко усваиваемыми элементами являются К, Cd, Cu, Zn, Pb, Na. Наибольшие значения вышеперечисленных элементов зафиксированы в растительном материале *A. platanoides* и *J. regia*.

Анализ эмпирических рядов накопления показал, что интенсивнее накапливаются кадмий и цинк, чем медь и свинец. Согласно ГОСТ 17.4.1.02-83 кадмий, свинец и цинк относятся к химическим веществам первого класса опасности, поэтому нуждаются в пристальном контроле за содержанием в элементах экосистем.

Проведенное исследование растительных образцов подтвердило высокие кумулятивные особенности рассмотренных видов по отношению к ряду исследованных металлов. На основе результатов можно предложить использовать урбанодендрофлору в качестве чувствительных биоиндикаторов по отношению к металлам, что делает растения важным объектом экологического мониторинга в совокупности с исследованиями водных сред, почв и воздуха. Применение древесных растений в качестве чутких биоиндикаторов может оказать большую помощь в мониторинге окружающей среды, так как возможна визуальная оценка загрязнений, предполагающая зонирование по видовому составу, внешнему виду, с применением индикационных индексов, а также химический анализ на содержание различных веществ (в частности металлов).

Принимая во внимание значения рассчитанных коэффициентов, можно сделать вывод о том, что высоким фиторемедиационным потенциалом по отношению к кадмию, меди и свинцу в диапазоне его низких и средних концентраций в почве обладают *R. pseudoacacia* и *A. platanoides*, по отношению к цинку и никелю – *Q. robur* и *A. negundo*. Фиторемедиационный потенциал *R. pseudoacacia* – Cu (0,67–2,0); Cd (0,84–2,05), Pb (0,75–1,90), *A. platanoides* – Cu (0,50–1,10); Cd (1,46–1,93), Pb (1,73–2,18), *Q. robur* – Zn (0,32–1,83); Ni (0,80–1,40), *A. negundo* – Zn (0,36–1,84); Ni (0,69–1,93).

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ Донецкий ботанический сад по теме «Классификация почвенно-растительного покрова с помощью методов дистанционного зондирования Земли» (регистрационный № 124101500495-0).

Список литературы

1. Достовалова Д. А., Подгородецкий Н. С., Глухов А. З., Жуков С. П. Экологический мониторинг ландшафтных техногенных новообразований // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32, № 4. С. 431–444. DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-431-444. EDN: NJPHDW.
2. Жмылёв П. Ю., Алексеев Ю. Е., Морозова О. В. Биоморфологическое разнообразие сосудистых растений Московской области. Дубна: Дубна, 2017. 325 с.
3. Жуков С. П. Слияние рекультивированных отвалов шахт с городским ландшафтом как вариант экологической оптимизации старопромышленных территорий // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2018. Т. 147. С. 210–211. EDN: YAJZTV.
4. Жуков С. П., Мартынова Е. А. Отвал шахты № 5–6 г. Донецка: 100-летний юбилей, ретроспективы и перспективы // Комплексное использование природных ресурсов. Сб. науч. работ регион. конф. (Донецк, 10 дек. 2015 г.), под ред. В. Н. Артамонов, Д. А. Козырь. Донецк: ДонНТУ. 2015. С. 167–168.
5. Калинина А. В. Популяционный мониторинг техногенных экотопов некоторых породных отвалов г. Макеевки // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: материалы XVII Всеросс. научно-практ. конф. с международ. участием, (Киров, 05 декабря 2019 г.). Том Книга 2. – Киров: Вятский государственный университет, 2019. С. 13–15. EDN: QCAPKF.
6. Калинина А. В., Гермонова Е. А. Геостратегическая визуализация фитоценозов породных отвалов угольных шахт г. Макеевки в условиях самозарастания и рекультивации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 3–4. С. 28–34. EDN: KDDDQU.
7. Камкин В. А., Абеусов С. К. Лесная фитопатология: Учебно-методическое пособие / Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова. Павлодар: Кереку, 2017. 150 с.

8. *Капитанов А. Н., Лисецкий Ф. Н., Швец Г. И.* Основы ландшафтно-экологического земледелия. М.: Издательство «Колос», 1994. 127 с. DOI: 10.13140/2.1.3651.4080.

9. *Козловский Б. Л., Куропятников М. В., Федорина О. И.* Эколого-биологическая характеристика древесных растений урбанофлоры Ростова-на-Дону // Известия Иркутского ГУ. Серия «Биология, Экология», 2011. Т. 4, № 2. С. 38–43.

10. *Коршиков И. И., Котов В. С., Михеенко И. П.* Фитоиндикация качества окружающей среды в техногенных районах В кн.: Каталог разработок Донецкого ботанического сада. Донецк: Б. и., 1994. С. 14–15.

11. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства / А. М. Кузнецов, А. П. Фесюн, С. Г. Самохвалов, Э. П. Махонька; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Центральный институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНАО). – Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Центральный институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства (ЦИНАО), 1992. 61 с. EDN: UWFEXR.

12. *Новикова А. Л., Чубик М. В.* Фиторемедиация почв // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всеросс. научно-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов (Юрга, 27–28 ноября 2014 г.) / Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета. Юрга: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2014. С. 52–54. EDN: TJJNUJ.

13. *Полынов Б. Б.* Избранные труды. М.: Изд-во Академии наук; 1956. 751 с.

14. *Рябокоть С. М., Духарев В. А., Коршиков И. И.* Генетические последствия загрязнения окружающей среды для древесных растений // Промышленная ботаника: состояние и перспективы развития. Тезисы докладов республиканской науч. конф., посвященной 25-летию Донецкого ботанического сада АН УССР (Донецк, сентябрь 1990 г.). К.: Наукова думка, 1990. С. 35–37.

15. *Сафонова Е. В., Бабкина С. В., Селиванова И. И.* Спектр жизненных форм растений как показатель степени антропогенной трансформации флоры // Человек и природа: грани гармонии и углы соприкосновения: материалы Всеросс. научно-практ. конф. (27 апреля 2012 г.). Комсомольск-на-Амуре: изд-во АмГПУ. 2012. С. 153.

16. *Vox E.* Predicting physiognomic vegetation types with climate variables // *Vegetatio*. 1981. Vol. 45. P. 27–39. <https://doi.org/10.1007/BF00119222>.

17. *Di Biase L., Pace L., Manton C., Fattorini S.* Variations in Plant Richness Biogeographical Composition, and Life Forms along an Elevational Gradient in a Mediterranean Mountain // *Plants*. 2021. Vol. 10, No. 10. 2090. <https://doi.org/10.3390/plants10102090>.

18. *Gallagher R. V., Leishman M. R.* A global analysis of trait variation and evolution in climbing plants // *Journal of Biogeography*. 2012. Vol. 39. P. 1757–1771. <https://doi.org/10.1111/j.13652699.2012.02773>.

19. *Klimeš L.* Life-forms and clonality of vascular plants along an altitudinal gradient in E Ladakh (NW Himalayas) // *Basic Appl. Ecol.* 2003. Vol. 4 No. 4. P. 317–328. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00163>.

20. *Loidi J.* The concept of vegetation class and order in phytosociological syntaxonomy // *Vegetation Classification and Survey*. 2020. Vol. 1. P. 163–167. <https://doi.org/10.3897/VCS/2020/59977>.

21. *Loidi J., Chytrý M., Jiménez-Alfaro B., Alessi N., Biurrun I., Campos J. A., Čarni A., Fernández-Pascual E., Xavier Font Castell, Gholizadeh H., Indreica A., Kavgaci A., Knollová I., Naqinezhad A., Novák P., Nowak A., Škvorec Z., Tsiripidis I., Vassilev K., Marcenò C.* Life-form diversity across temperate deciduous forests of Western Eurasia: A different story in the understory // *Journal of Biogeography*. 2021. Vol. 48. P. 2932–2945. <https://doi.org/10.1111/jbi.14254>.

Поступила в редакцию 05.06.2025 г.

Dostovalova D. A., Glukhov A. Z., Podgorodetsky N. S. Functional capabilities of urbanodendroflora species in rock dumps of Donbass coal mines. – An analysis of the state of tree plantations and spontaneous vegetation on mine rock dumps in the urban areas of Donetsk and Makeyevka has been carried out. The coefficients of biological absorption and capture of chemical elements from the group of heavy metals, as the most dangerous rock pollutants for public health, are determined. The effectiveness of using representatives of urbanodendroflora to optimize the ecological state of man-made territories is shown. The model of the least costly and effective solution to the problem of socio-ecological safety of mine rock dumps is substantiated.

Keywords: ecosystem, mining rock dump, biological absorption coefficient

Достовалова Дарья Александровна

аспирант, младший научный сотрудник
лаборатории экологической информатики и
моделирования ФГБНУ Донецкий ботанический сад
г. Донецк, ДНР, РФ.

E-mail: dasha.dostovalova1997@mail.ru

Author ID: 1181137

ORCID: 0000-0001-6308-6524

Dostovalova Daria Alexandrovna

Postgraduate student, Junior Researcher
at the Laboratory of Environmental Informatics and
Modeling
Donetsk Botanical Garden
Donetsk, DPR, Russian Federation.

Глухов Александр Захарович

доктор биологических наук, профессор,
главный научный сотрудник лаборатории культурных
растений ФГБНУ Донецкий ботанический сад
г. Донецк, ДНР, РФ.

E-mail: glukhov.az@mail.ru

Author ID: 1034119

ORCID: 0000-0001-9675-7611

Glukhov Alexander Zakharovich

Doctor of Biological Sciences, Professor,
Chief Researcher laboratories of cultivated plants
Donetsk Botanical Garden
Donetsk, DPR, Russian Federation.

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

Author ID: 836893

ORCID: 0009-0000-7553-7222

Podgorodetsky Nikolay Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of
Technosphere Safety Department
Donbass National Academy of Civil engineering and
Architecture,
Makeyevka, DPR, Russian Federation.