

Загрязнение почв урбанизированной территории частицами пластмасс в пойме малой реки Данилиха

© 2024 М. Н. Власов , А. А. Васильев , И. А. Самофалова , В. Ю. Гилев , А. Н. Чащин 

ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова», ул. Петропавловская, 23, г. Пермь, 614990, Россия. E-mail: 79523305113@yandex.ru

Цель исследования. Провести оценку содержания, морфологии и степени деградации поверхности частиц пластмасс в почвах поймы малой реки Данилиха на урбанизированной территории.

Место и время проведения. Рекреационная зона в проектируемом «Сквере Каменных», расположенная в низкой пойме на левом берегу малой реки Данилиха (приток р. Кама) в городе Пермь. Диагностированы урбо-аллювиальные серогумусовые глеевые почвы. Отбор почвенных образцов из поверхностных горизонтов проводили в июле 2023 г.

Методы. Для извлечения из почвы частиц пластмасс использовали методы визуального отбора, просеивания, флотации в насыщенном растворе NaCl. Форму и тип частиц пластмасс определяли визуально по внешним признакам. Природное органическое вещество удаляли реактивом Фентона. Морфологию поверхности частиц пластмасс и их количество определяли с помощью стереомикроскопа. Для определения связи между формой частиц пластмасс и их размерами использовали информационно-логический анализ.

Основные результаты. В объединённой пробе почвы из поверхностных горизонтов количество частиц пластмасс достигает 177 штук/кг, без учёта волокон. Масса частиц пластмасс с учётом волокон составила 0,7 г/кг. Среди форм частиц пластмасс количественно преобладают плёнки – 62%, шарики пенопласта и пены составляют 34 и 4%. По массе преобладают частицы в следующей последовательности: шарики пенопласта > плёнки > волокна > пены. В размерном диапазоне преобладают крупные частицы пластмасс от 1,1 до 15 мм. Установлены специфичные размеры частиц пластмасс для разных форм.

Заключение. Впервые изучено содержание частиц пластмасс в поверхностных горизонтах почв поймы малой реки Данилиха – урбанизированной территории на примере рекреационной зоны в проектируемом «Сквере Каменных». Частицы пластмасс имеют разные размеры и форму, что указывает на многообразие источников загрязнения. Степень деградации поверхности частиц пластмасс указывает на их активное выветривание, которое протекает в почве в условиях нейтральной реакции среды. На деградацию поверхности частиц пластмасс также активно влияют внешние факторы, которые действуют до попадания пластмасс в аллювиальные почвы. Загрязнение изученных почв частицами пластмасс можно оценить как среднее. В связи с обнаружением загрязнения почв частицами пластмасс рекомендуем органам муниципальной власти города Пермь организовать проведение мониторинга их содержания в районах с высокой антропогенной нагрузкой.

Ключевые слова: частицы пластмасс; загрязнение; урбо-аллювиальная почва; пойма малой реки; формы и размер частиц.

Цитирование: Власов М.Н., Васильев А.А., Самофалова И.А., Гилев В.Ю., Чащин А.Н. Загрязнение почв урбанизированной территории частицами пластмасс в пойме малой реки Данилиха // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 4. e274. DOI: 10.31251/pos.v7i4.274

ВВЕДЕНИЕ

Признано, что загрязнение почв искусственными полимерами является мировой экологической угрозой современности (Носова, Успенская, 2022; He et al., 2018). Поступление пластмасс в окружающую среду связано с низкой ответственностью общества и отставанием процессов утилизации от производства. В сильной степени подвержены загрязнению частицами пластмасс почвы пойм городских рек; наиболее активно частицы пластмасс поступают в аллювиальные почвы с территории водосборных бассейнов урбанизированных ландшафтов в период паводков и половодий (Носова, Успенская, 2022; Weber et al., 2022). Многими исследователями отмечено загрязнение частицами пластмасс почв пойм городских рек (Кухарчик, Чернюк, 2022; Scheurer et al., 2018; Christensen et al., 2020; Weber et al., 2022). В городах частицы пластмасс поступают в речные воды вместе с дорожной пылью и дождевыми стоками с автотрасс, с атмосферной пылью, а также с бытовым и строительным мусором (Леонов, Тиунов, 2020; Сапрыкин, Самойлов, 2021; Морачевская, Воронина, 2022; Носова, Успенская, 2022; Brander et al., 2020; Khalid et al., 2020). Почвы пойм могут

выступать дополнительным источником загрязнения частицами пластмасс вод крупных рек, притоками которых являются городские водотоки (Франк и др., 2022).

Изделия из **первичных** пластмасс, потерявшие потребительскую ценность, часто оказываются на поверхности почв. Под влиянием организмов, инфракрасных и ультрафиолетовых лучей, воды, ветра, кислорода воздуха, механического истирания первичные пластмассы разрушаются до мелких частиц **вторичных** пластмасс (Носова, Успенская, 2022; He et al., 2018; Christensen et al., 2020). С поверхности почв частицы пластмасс проникают в поверхностные горизонты и мигрируют в составе почвенного раствора по порам и трещинам вниз по профилю (Кухарчик, Чернюк, 2022; Scheurer et al., 2018). Перемещению частиц пластмасс в почвах также способствует педофауна (Леонов, Тиунов, 2020; Морачевская, Воронина, 2022; Rillig et al., 2017; Khalid et al., 2020). Однако большинство частиц пластмасс, являясь относительно молодыми антропогенными включениями почв (приблизительное время начала осаждения с 1960-х годов), накапливаются в поверхностных горизонтах (Weber et al., 2022).

Опасность вторичных частиц пластмасс в почвах определяется физическими (размер, форма, плотность, цвет) и химическими (состав) свойствами. По размеру частиц пластмасс выделяют: мегачастицы (более 25 мм по наибольшей оси), макрочастицы (5–25 мм), крупные частицы (1–5 мм), микрочастицы (1 мкм–1000 мкм), наночастицы (1 мкм–1 нм) и пикочастицы (размер менее 1 нм) (Леонов, Тиунов, 2020; Морачевская, Воронина, 2022; ISO 24187:2023). Наиболее доступными и опасными для организмов являются частицы пластмасс размером от 5 мм и менее. Фракции частиц пластмасс такого размера часто обобщают и называют микропластиком. Форма частиц пластмасс разнообразна: фрагменты, пластинки, плёнки, волокна, гранулы, шарики, пены и другие (Khalid et al., 2020). Низкая плотность, форма, размер, а также длительный период разложения частиц пластмасс способствуют их распространению в педосфере (Сапрыкин, Самойлов, 2021). В почвах встречаются частицы пластмасс с разной плотностью: полипропилен (PP 0,85–0,94 г/см³), полиэтилен (PE 0,92–0,97 г/см³), полистирол (PS 1,05–1,06 г/см³), полиамид (PA 1,13–1,15 г/см³), поликарбонат (PC 1,20–1,22 г/см³), полиэтилентерефталат (PET 1,31–1,58 г/см³), поливинилхлорид (PVC 1,41–1,61 г/см³), частицы износа шин (каучук) и другие (Кухарчик, Чернюк, 2022; Scheurer et al., 2018).

В процессе абиотического разложения и биodeградации, из частиц пластмасс в почвы выделяются токсичные мономеры (стирол, фенол, формальдегид и винилхлорид), наполнители и добавки, такие как пластификаторы, антипирены, стабилизаторы, антиоксиданты и пигменты, применяемые для улучшения свойств пластмасс (Khalid et al., 2020). Из PVC и PC могут высвобождаться пластификаторы: фталаты, применяемые для эластичности и прочности изделий, а также бисфенол-А, используемый для придания твёрдости (Морачевская, Воронина, 2022; Zimmermann et al., 2019). PS может являться источником гексабромциклододекана (Кухарчик, Чернюк, 2022), стирола и бензола (Морачевская, Воронина, 2022; Zimmermann et al., 2019). В производстве пластмасс широко используют металлы, которые также представляют опасность для окружающей среды.

Частицы пластмасс нарушают физические и химические свойства почв пойм, меняют их вещественный состав, а также увеличивают подвижность и миграцию тяжёлых металлов в сопредельные среды (Zhang et al., 2020; Weber et al., 2022).

В почвах токсичность частиц пластмасс возрастает при взаимодействии с ионами тяжёлых металлов (Wang et al., 2019). Способность частиц пластмасс адсорбировать на поверхности тяжёлые металлы из почв описана в ряде работ (Zhou et al., 2019; Zhang et al., 2020). Количество тяжёлых металлов, присутствующих на поверхности частиц пластмасс, прямо связано с концентрацией металлов в почвах (Khalid et al., 2020, 2021). Дegrадация частиц пластмасс увеличивает адсорбцию тяжёлых металлов, так как сокращение их размера увеличивает общую площадь поверхности. Вследствие воздействия атмосферного ультрафиолетового излучения и механического истирания, частицы пластмасс заряжаются отрицательно, что повышает физическую адсорбцию катионов металлов из почвенного раствора (Wang et al., 2019; Zhang et al., 2020; Khalid et al., 2021). Атмосферное и почвенное выветривание изменяет свойства частиц пластмасс, отражаясь на их поведении в окружающей среде (Zhou et al., 2019).

Физико-химические характеристики почвы влияют на подвижность металлов, связанных с поверхностью частиц пластмасс. На адсорбцию и десорбцию тяжёлых металлов частицами пластмасс влияет pH почвенного раствора (Zhang et al., 2020). Поглощение тяжёлых металлов частицами пластмасс повышается с ростом величины pH почвенного раствора в диапазоне от 3 до 7 единиц (Wang et al., 2019). При низких значениях pH почвенного раствора ионы H⁺ конкурируют с катионами

металлов и снижают их адсорбцию на частицах пластмасс (Khalid et al., 2021). Органическое вещество также конкурирует за катионы металлов, поглощённые поверхностями частиц пластмасс (Khalid et al., 2021). Гидрофобная поверхность частиц пластмасс удерживает и органические загрязнители (Wang et al., 2019); так, PS способен поглощать полициклические ароматические углеводороды (Кухарчик, Чернюк, 2022).

Десорбция тяжёлых металлов с поверхности частиц пластмасс представляет угрозу для почвенной биоты (Леонов, Тиунов, 2020). Установлено, что частицы пластмасс по трофической цепи могут попадать в организм человека и вызывать гормональные нарушения, онкологические заболевания и мутагенное действие (Zimmermann et al., 2019). Все это определяет актуальность проведения исследований по проблеме загрязнения почв частицами пластмасс.

Этапы исследования почв на предмет содержания в них частиц пластмасс включают: сбор проб почв и их подготовку; извлечение частиц (просеивание и флотация); количественная и качественная оценка с применением оптической микроскопии и других методов; дополнительные исследования (Ручкина, Мерзляков, 2023; He et al., 2018; Brander et al., 2020; Weber et al., 2022; ISO 24187:2023).

На территории г. Пермь протекает свыше 100 водотоков, их социальное и экологическое значение для города с населением свыше 1 млн человек очень существенное. Эколого-геохимическое состояние почв пойм малых рек г. Пермь изучено и оценено, как неблагоприятное (Васильев, Власов, 2023), но данные о концентрации, вещественном составе и степени деградации частиц пластмасс в городских аллювиальных почвах крупного промышленного центра России до настоящего времени отсутствуют.

Цель исследования – провести оценку содержания, морфологии и степени деградации поверхности частиц пластмасс в почвах поймы малой реки Данилиха на урбанизированной территории.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования послужили поверхностные горизонты урбо-аллювиальных серогумусовых глеевых почв (Классификация ..., 2004; Полевой ..., 2008; Прокофьева и др., 2011, 2014; Герасимова и др., 2023) или Fluvisols по классификации IUSS Working Group WRB (2015), сформированных в низкой пойме левого берега малой реки Данилиха (левобережный приток р. Камы) в городе Пермь. На данном участке поймы планируется строительство «Сквера Каменских» площадью 3,9 га. Координаты: 58°00'03,04" с.ш., 56°12'53,93" в.д. (рис. 1). Рельеф большей части поймы, отводимой под создание сквера, на ранних этапах освоения территории был поднят насыпными техногенными грунтами (tQ). Аллювиальные почвы на современной аллювии (aQ) были выявлены только на двух участках, где и были отобраны образцы для проведения лабораторных исследований.



Рисунок 1. Положение района исследований в Пермском крае и схема размещения площадок для отбора образцов из поверхностных горизонтов почв в пойме реки Данилиха, г. Пермь.

Из поверхностных горизонтов почв мощностью 0–10 см отбирали образцы на двух покрытых травянистой растительностью площадках, удалённых друг от друга на 150 метров и находящихся на расстоянии 3–5 м от меженного уровня реки. Отбор проб почв выполнили в июле 2023 г. Площадки

максимально удалены от потенциальных источников пластика (например, пунктов сбора твёрдых бытовых отходов) и городской инфраструктуры.

Площадки обследования ежегодно затапливаются весной при таянии снега и летом во время ливневых дождей. В периоды паводков пойменная растительность механическим путём улавливает и удерживает взвеси в составе речных вод, в том числе частицы пластмасс. Согласно рекомендациям (Ручкина, Мерзляков, 2023; He et al., 2018; Brander et al., 2020; Weber et al., 2022; ISO 24187:2023) на двух площадках размером 5×5 метров методом конверта отобрали одну объединённую пробу массой 1000 г, составленную из 10 точечных проб (глубина 0–10 см) массой 100 г каждая. Образцы почвы сушили при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния. Далее образцы подвергали перемешиванию и квартованию. Параллельно из образцов почв извлекали крупные камни и корни.

Частицы пластмасс извлекали из образца объединённой пробы почвы в два этапа с использованием общедоступных и недорогих методов: просеивание, визуальный отбор крупных частиц и флотация (He et al., 2018; Brander et al., 2020; Weber et al., 2022; ISO 24187:2023). На первом этапе из почвы выделяли частицы пластмасс размером более 1 мм. Для этого пробу почвы подвергали сухому просеиванию через сито с диаметром ячейки 1 мм. Из почвы, оставшейся на сите, с помощью пинцета проводили отбор хорошо заметных невооружённым глазом частиц пластмасс мега-, макро- и крупного размера. После отбора больших частиц пластмасс, фракции почвы размером >1,0 и <1,0 мм вновь объединяли для проведения второго этапа детекции частиц пластмасс.

На втором этапе из почвы извлекали частицы пластмасс размером от 1 до 0,1 мм. Для этого пробу почвы фракционировали по плотности с помощью специального сепаратора (Prume et al., 2023). Устройство сепаратора представляет собой стальной цилиндр, в центральной части которого встроен шаровой кран. Пробу почвы переносили в сепаратор с открытым краном и замачивали насыщенным раствором NaCl (плотность 1,2 г/см³ доводили по ареометру при комнатной температуре) в соотношении 1:2; затем суспензию тщательно перемешивали и оставляли в покое на 24 часа. Через сутки кран сепаратора закрывали. Всплывшие над краном сепаратора естественные органические остатки и частицы пластмасс сливали в стакан приёмник. Частицы пластмасс, оставшиеся на стенках сепаратора, смывали насыщенным раствором NaCl в тот же стакан приёмник. Затем материал, состоящий из естественных органических остатков и частиц пластмасс, был отфильтрован, промыт в дистиллированной воде и высушен при комнатной температуре. Далее природное органическое вещество окисляли с помощью реактива Фентона (30% раствор перекиси водорода в присутствии ионов Fe²⁺ в качестве катализатора при нагревании до 75°C в течении 30 минут на водяной бане и дальнейшем отстаивании в течении суток).

Низкая плотность раствора NaCl не позволяет вытеснить более плотные частицы PET и PVC, поэтому дополнительно проводили мокрое просеивание пробы почвы, оставшейся на дне сепаратора через сито с диаметром ячейки 0,1 мм.

Частицы пластмасс, извлечённые из почвы, изучали под стереомикроскопом (увеличение 20-кратное) и фотографировали. Охарактеризована форма частиц пластмасс, осуществлён их количественный учёт, определены размер, цвет и степень деградации поверхности.

Диаметр частиц по наибольшей длине оси измеряли с помощью программы ImageJ (Christensen et al., 2020). Степень деградации поверхности частиц пластмасс классифицировали по трём категориям в зависимости от её состояния: свежая – поверхность частиц пластмасс гладкая, с матовым или глянцевым блеском; с начальными изменениями – поверхность имеет помутнение, потускнение, присутствуют налёты; выветрившаяся – на поверхности есть сквозные дыры, трещины, потёртости (Weber et al., 2022). Для характеристики фракции частиц пластмасс размером более 1 мм, извлечённых при сухом просеивании, описывали морфологию налипших корок, способных адсорбировать минеральные и органические загрязнители.

Контроль качества работ исключал использование материалов из пластмасс во время полевых и лабораторных работ. Использовали спецодежду из хлопчатобумажных тканей. Лабораторное оборудование промывали дистиллированной водой (Brander et al., 2020; ISO 24187:2023).

Подлинность частиц пластмасс подтверждали по следующим признакам: частицы плавилась при контакте с горячей иглой; у частиц отсутствовала клеточная (биологическая) структура; частицы имели однородный цвет по всей длине и были пластичны (Brander et al., 2020; ISO 24187:2023).

Физико-химические свойства почв определяли общепринятыми методами (Ганжара и др., 2017): содержание органического углерода с пересчётом на гумус – мокрым озолением образцов в серно-хромовой смеси (по Тюрину); актуальную кислотность (pH_{вод}) – потенциометрическим методом при соотношении почва : вода равным 1:2,5; гранулометрический состав – методом пипетки

с диспергацией образцов пирофосфатом натрия (по Качинскому). Статистическую обработку данных и их визуализацию проводили в пакете Microsoft Excel.

Для определения связи между формой частиц пластмасс и их размерами использовали функции многозначной логики. Метод информационно-логического анализа используется при изучении почвенного покрова как равнинных, так и горных территорий (Дайнеко, Фридланд, 1969; Пузаченко и др., 1970; Сорочкин, 1977; Самофалова, 2017). Информационно-логический анализ проведён в программе ALL, разработанной в Алтайском ГАУ (авторы: Л.М. Бурлакова, Д.И. Иваничкин). С этой целью исходные данные сопряженных исследований (форма частиц пластмасс, их размер) ранжировали по размерам частиц (≤ 1 ; 1,1–5,0; 5,1–10,0; 10,1–15,0; 15,1–20,0; 20,1–25,0; $>25,0$ мм) (явление А) и их формам (плёнки, шарики, пена) (фактор В).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В поверхностных горизонтах урбо-аллювиальных серогумусовых глеевых почв содержание гумуса высокое (табл. 1). Аналитические данные, показывающие содержание гумуса в поверхностных горизонтах изученных почв, могут быть завышенными за счёт окисления присутствующих частиц пластмасс 0,4 н. раствором двуххромовокислого калия ($K_2Cr_2O_7$), приготовленного на серной кислоте (H_2SO_4). Реакция среды почвенного раствора поверхностных горизонтов нейтральная, гидролитическая кислотность очень низкая. Сумма обменных оснований очень высокая. Ёмкость катионного обмена умеренно высокая. Степень насыщенности почвы основаниями высокая.

Таблица 1

Физико-химические свойства поверхностных горизонтов урбо-аллювиальных серогумусовых глеевых почв исследуемых площадок в пойме реки Данилиха

Горизонт, мощность, см	Гумус, %	pH _{KCl}	pH _{H2O}	ммоль(экв)/100 г			V, %	Гранулометрический состав
				Hг	S	ЕКО		
AУg,ur, 0–10	6,9	6,8	7,1	0,61	35,00	35,61	98	Средний суглинок

Примечание.

Представлены почвенные свойства: содержание гумуса; кислотность обменная (pH_{KCl}), актуальная (pH_{H2O}) и гидролитическая (Hг); сумма обменных оснований (S); ёмкость катионного обмена (ЕКО); степень насыщенности основаниями (V).

Для токсикологических исследований и оценки накопленного почвами вреда важное значение имеют характеристики форм частиц пластмасс, учёт их количества и размера. В объединённой пробе почвы массой 1 кг обнаружено 177 частиц пластмасс без учёта волокон. Сложность подсчёта волокон связана с многообразием их пространственной организации. Так, если волокна с формой эластичных нитей разной длины легко подсчитать, то волокна, скрученные в пучки или спутанные в катышки гораздо сложнее. Масса частиц пластмасс с учётом волокон составила 0,7 грамм/кг (шарики пенопласта – 0,5317 г, плёнки – 0,0923 г, волокна – 0,0411 г и пены – 0,0034 г). Среди форм частиц пластмасс количественно преобладают плёнки – 62% (109 шт.); далее следуют шарики пенопласта – 34% (60 шт.) и пены – 4% (8 шт.) (рис. 2а). Морфологические особенности выявленных частиц пластмасс следующие: плёнки имеют форму тонких, эластичных листов; шарики пенопласта – упругие, в виде сфер с ячеистой структурой; частицы пены имеют форму пористых губок.

При отсутствии данных о химическом составе частиц пластмасс характеристика их формы позволяет получить предварительную информацию о материале, из которого они изготовлены. Так, форма частиц пластмасс в виде шариков пенопласта может указывать на то, что они выполнены из полистирола или других полимеров. Частицы с формой плёнок могут состоять из полиэтилена, полипропилена, поливинилхлорида или иных материалов. Вещественный состав частиц с формой волокон может быть представлен нейлоном, полиэстером или акрилом. Частицы с формой пены могут состоять из полиуретана.

Цвет плёнок чаще прозрачный (75%), реже белый, красный, синий, серебристый, жёлтый и зелёный (рис. 2в). Шарики пенопласта бело-серые. Пены имеют жёлтый и красный цвет. Волокна преимущественно прозрачные или окрашены в белый, чёрный, красный и другие цвета.

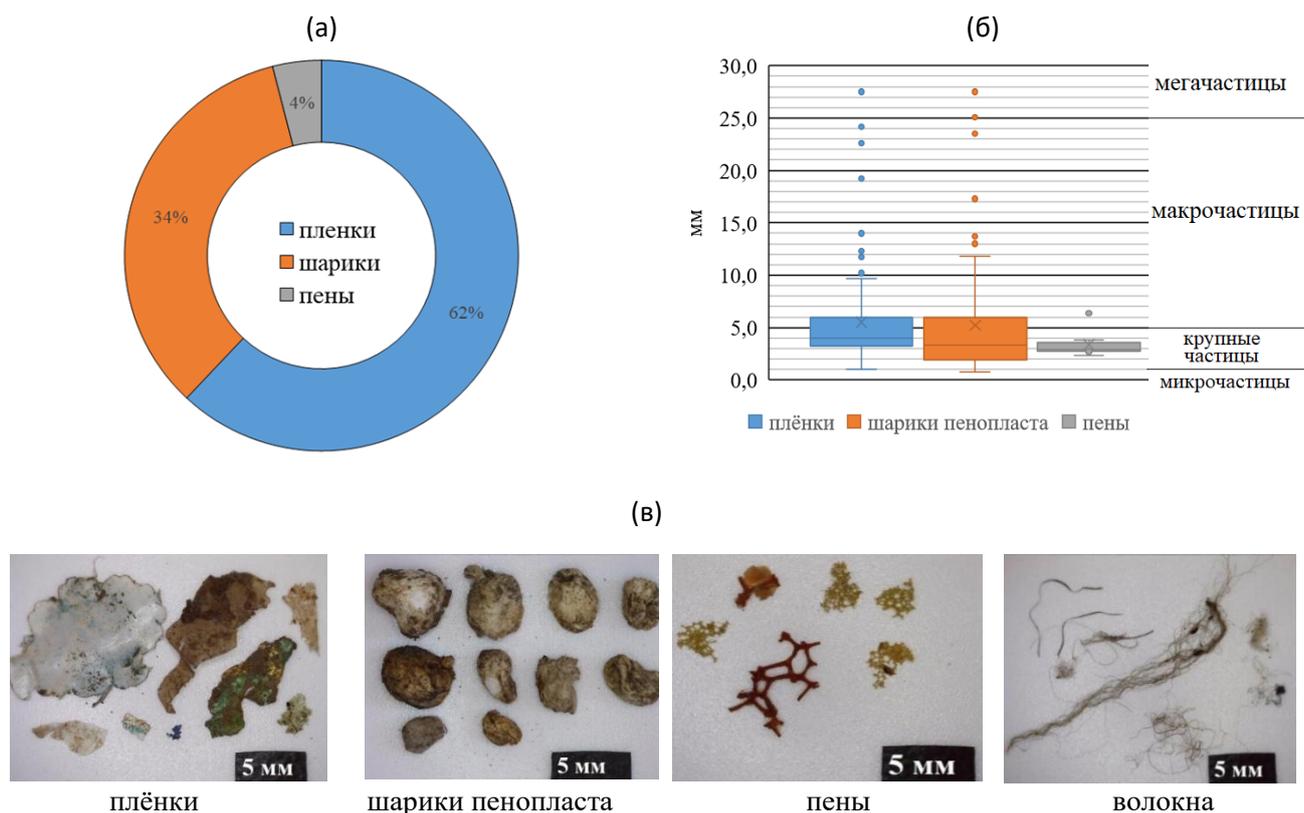


Рисунок 2. Морфологическая характеристика частиц пластмасс: а) преобладающие формы; б) размерные группы; в) внешний вид.

Размер у большинства частиц пластмасс крупный – от 1 до 5 мм по наибольшей оси. В данном диапазоне у частиц плёнок средний размер составляет 3,3 мм (табл. 2, рис. 2б), шариков пенопласта – 2,7 мм, пен – 2,9 мм. Реже встречаются макрочастицы пластмасс размером от 5 до 25 мм. В составе этой группы частиц средний диаметр плёнок составил 9,3 мм, у сдвоенных или строенных шариков пенопласта – 9,1 мм, частиц пены – 6,4 мм. Также единично выявлены мегачастицы пластмасс с размером более 25 мм. Так, у одной частицы плёнки длина составила 27,5 мм, а у фрагментов пенопласта средняя длина равняется 26,3 мм. В группе микрочастиц у шариков пенопласта средний диаметр составил 0,8 мм.

Таблица 2

Фракции частиц пластмасс в урбо-аллювиальной серогумусовой почве поймы реки Данилиха

Название фракций по величине частиц пластмасс	Плѐнки		Шарики пенопласта		Пены	
	Количество, шт.	Средний размер, мм	Количество, шт.	Средний размер, мм	Количество, шт.	Средний размер, мм
Мегачастицы, более 25 мм	1	27,5	2	26,3	–	–
Макрочастицы, 5–25 мм	36	9,3	18	9,1	1	6,4
Крупные частицы, 1–5 мм	72	3,3	35	2,7	7	2,9
Микрочастицы, 0,5–1мм	–	–	5	0,8	–	–

Примечание.

Прочерк означает, что данная фракция не обнаружена.

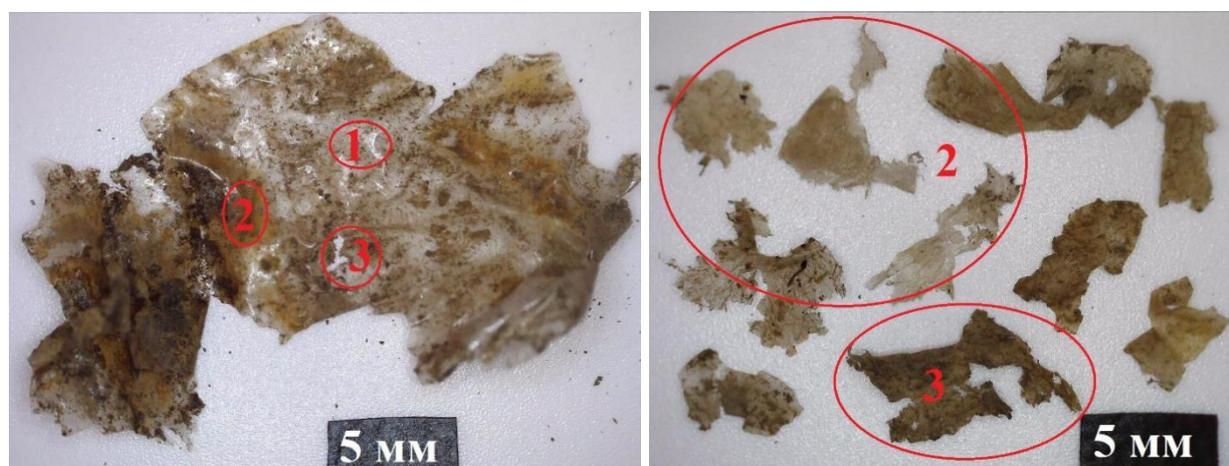
С помощью информационно-логического анализа установлена связь между формой частиц пластмасс и их размерами. Общая информативность связи ниже средней. Установлены специфичные состояния размеров частиц пластмасс для разных их форм. Так, для частиц пластмасс в форме плѐнки наиболее специфичным является размер 5,1–15,0 мм и, в некоторой степени, 1,1–5,0 мм.

Наиболее вероятными размерами для частиц пластмасс в форме шарика являются 1,1–15,0 мм, то есть отмечается больший диапазон варьирования диаметра частиц. Для частиц в форме пены наиболее специфичным является размер частиц в пределах 1,1–5,0 мм. Следует отметить, что для

частиц в форме плёнки и шарика возможно незначительное содержание микро- и мегачастиц пластмасс, в то время как для частиц пены содержание микро- и мега- частиц не является характерным. Специфичные (наиболее вероятные) состояния размеров частиц для каждого значения изучаемого фактора (формы частиц пластмасс) позволили установить форму существующей связи между ними. Логическая зависимость размеров частиц от формы частиц пластмасс определяется характером взаимодействия исследуемых параметров (криволинейная) и описывается функцией нелинейного произведения ($A=B::C$), где значение функции есть среднее арифметическое из суммы аргументов.

Для оценки взаимодействия частиц пластмасс с почвой, оценки их источников, путей поступления и дальнейшей судьбы важна характеристика степени деградации поверхности частиц. Выявлено, что у извлечённых частиц пластмасс, согласно классификации (Weber et al., 2022), присутствуют следующие степени деградации поверхности. Свежие поверхности частиц пластмасс как правило гладкие, с матовым или глянцевым блеском. Начальные изменения поверхности частиц пластмасс заметны по помутнению, потускнению и присутствию налётов. Выветрившиеся участки поверхности частиц пластмасс имеют сквозные отверстия, трещины, царапины и потёртости (рис. 3).

(а) плёнки



(б) шарики пенопласта



Рисунок 3. Примеры степени деградации поверхности частиц плёнки (а) и шариков пенопласта (б) в урбо-аллювиальной серогумусовой почве поймы реки Данилиха. Степень деградации поверхности частиц пластмасс, оценённая по Вебер с соавторами (Weber et al., 2022), на фотографиях обозначена цифрами: 1 – свежая, 2 – с начальными изменениями и 3 – выветрившаяся.

На поверхности мегачастиц плёнок размером более 25 мм присутствуют участки с разной степенью деградации. У частиц плёнок с меньшими размерами поверхность деградирует более равномерно и однообразно. Так, у крупных частиц плёнок размером от 1 до 5 мм поверхность имеет начальные изменения, либо она выветрившаяся. Поверхность шариков и фрагментов пенопласта

чаще была выветрившейся, сморщенной, потёртой и в большинстве случаев покрыта охристыми наслоениями.

Все частицы плёнок, шариков пенопласта и волокон, отобранные пинцетом при сухом просеивании, на поверхности имеют налипшие корки и налёты. Данные наслоения, налипшие на вогнутых участках поверхностей частиц пластмасс, способны содержать в себе и переносить токсичные загрязнители. Охристая и коричневая окраска корок типична для гидроксидов железа, которые характеризуются высоким сродством к тяжёлым металлам (Васильев, Власов, 2023).

ОБСУЖДЕНИЕ

Градации по степени загрязнения почв частицами пластмасс пока не разработаны, поэтому нами был проведён сравнительный анализ полученных результатов и данных из научной литературы по этой проблеме.

Загрязнение гумусовых горизонтов почв поймы реки Данилиха урбанизированной территории частицами пластмасс размером более 0,1 мм составляет 177 частиц/кг, что можно оценить, как среднее. Для сравнения укажем, что в урбанизированных почвах поймы реки Нидда в районе г. Франкфурта в Германии содержание частиц пластмасс размером от 171 мкм до 52 мм достигало 41,92 частиц/кг (вытеснение раствором NaCl с плотностью 1,2 г/см³). Это было оценено авторами исследований, как нижний диапазон содержания частиц пластмасс для пойменных почв (Weber et al., 2022). В почвах Швейцарии на 29 разных участках пойм рек Рейн, Аре, Рона максимальное количество частиц пластмасс составило 593 частиц/кг (раствор NaCl с плотностью 1,2 г/см³) (Scheurer et al., 2018). В исследовании других учёных (Кухарчик, Чернюк, 2022), приводятся данные о загрязнении частицами пластмасс почв поймы малой реки Мышка в г. Минск (Республика Беларусь), где в зоне воздействия предприятия по производству пенополистирольных плит количество частиц пенопласта в почвах варьирует от 94 до 2100 частиц/кг (флотация в дистиллированной воде). Можно предположить, что реальные масштабы загрязнения частицами пластмасс поверхностных горизонтов почв поймы реки Данилиха в г. Пермь более высокие, если учитывать частицы с размером менее 100 мкм и использовать для фракционирования более плотные вытесняющие растворы.

Морфология частиц пластмасс, выявленных в почвах поймы реки Данилиха, сопоставима с результатами других исследователей (Weber et al., 2022), полученными для почв аналогичного генезиса. Доминирование прозрачных частиц плёнок крупного размера в почвах поймы реки Данилиха можно объяснить особенностями землепользования на водосборной территории. На протяжении длительного времени в долине и водоохранной зоне поймы реки Данилиха размещались садово-огородные участки, а также стихийные свалки бытового мусора, которые являлись диффузными источниками частиц плёнок. Обнаруженные частицы пластмасс в почвах поймы реки Данилиха представляют угрозу для вторичного загрязнения вод реки Кама в пределах Воткинского водохранилища. Так, авторы исследования (Франк и др., 2022) отмечают преобладание частиц плёнок в воде реки Кама около города Краснокамска, который расположен ниже по течению от устья реки Данилиха.

Преобладание в гумусовых горизонтах почв поймы реки Данилиха крупных частиц пластмасс размером от 1 до 5 мм можно объяснить тем, что такие частицы легче задерживаются растительностью при затоплении поймы. Подобное явление также наблюдали исследователи в поймах рек Страублз-Крик, Роанок и Джеймс на территории штата Вирджиния в США (Christensen et al., 2020).

У многих частиц пластмасс в изученных почвах поверхность выветрившаяся или с начальными изменениями, что указывает на продолжительное действие внутрипочвенного и (или) напочвенного выветривания. Ранее было установлено (Christensen et al., 2020; Zhang et al., 2020), что механическое разрушение пластмасс до мелких частиц и ультрафиолетовое фотоокисление способствуют образованию на их поверхности кислородсодержащих функциональных групп C–O–C, C–O, C=O и OH, которые повышают способность поглощать загрязняющие вещества. Связи между частицами пластмасс и адсорбированными загрязнителями образуются слабые, поэтому последние могут легко высвободиться в почвенный раствор (Zhang et al., 2020). Преимущественно нейтральная реакция среды изученных почв поймы р. Данилиха способствует закреплению загрязнителей на выветрившейся поверхности частиц микропластика. При повышении кислотности почвы (использование кислого торфа, песка) в результате обустройства территории сквера, ионы H⁺ будут способствовать вытеснению тяжёлых металлов и других загрязнителей с поверхностей частиц пластмасс, что потенциально создаст дополнительную угрозу окружающей среде города.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В проведённых исследованиях впервые изучено содержание частиц пластмасс в почвах поймы малой реки Данилиха – урбанизированной территории на примере рекреационной зоны в проектируемом «Сквере Каменных». В почвенных образцах обнаружено 177 частиц пластмасс на килограмм почвы без учёта волокон. Установлено, что частицы пластмасс имеют разные размеры и формы, что указывает на многообразие источников загрязнения. Преобладают частицы размером от 1,1 до 15 мм. Среди форм частиц пластмасс количественно преобладают плёнки – 62%, шарики пенопласта и пены составляют 34% и 4%, соответственно. Масса частиц пластмасс с учётом волокон составила 0,7 г/кг почвы. По массе преобладают частицы в следующей последовательности: шарики пенопласта > плёнки > волокна > пены. Установлены специфичные размеры частиц пластмасс для различных их форм. Загрязнение изученных почв частицами пластмасс можно оценить как среднее.

Выявленная степень деградации поверхности частиц пластмасс указывает на их активное выветривание, которое протекает в почве в условиях нейтральной реакции среды. На деградацию поверхности частиц пластмасс также активно влияют внешние факторы, которые действуют до попадания пластмасс в аллювиальные почвы. В связи с обнаружением загрязнения почв частицами пластмасс рекомендуем органам муниципальной власти города Пермь организовать проведение мониторинга их содержания в районах с высокой антропогенной нагрузкой.

В данной статье приведены первые сведения о загрязнении почв поймы урбанизированной территории частицами пластмасс. В перспективе планируется расширить количество точек отбора проб почв на разных участках течения реки Данилиха, изучить распределение частиц пластмасс по профилю почв, а также провести дополнительные исследования по установлению вещественного состава выделенных из почвы частиц пластмасс и определить загрязняющие вещества, содержащиеся на их поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

- Васильев А.А., Власов М.Н. Эколого-геохимическое состояние городских аллювиальных почв пойм малых рек на примере города Перми. Пермь: ИПЦ «Прокрост», 2023. 261 с.
- Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. Практикум по почвоведению. Москва: ООО «Реарт», 2017. 164 с.
- Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: учебное пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Издательство Юрайт, 2023. 237 с.
- Дайнеко Е.К., Фридланд В.М. Опыт применения информационно-логического анализа для выяснения взаимосвязей между факторами почвообразования и некоторыми морфологическими свойствами почв // Структура почвенного покрова, почвенные комбинации, их классификация и методы изучения. Москва: Наука, 1969. С. 56–57.
- Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Кухарчик Т.И., Чернюк В.Д. Загрязнение почв микропластиком при производстве пенополистирола // Почвоведение. 2022. № 3. С. 370–380. <https://doi.org/10.31857/S0032180X2203008X>
- Леонов В.Д., Тиунов А.В. Взаимодействие беспозвоночных и синтетических полимеров в почве (обзор) // Экология. 2020. № 6. С. 403–416. <https://doi.org/10.31857/S0367059720060049>
- Морачевская Е.В., Воронина Л.П. Источники и пути транслокации микропластика в почве и растениях // Проблемы агрохимии и экологии. 2022. № 1. С. 41–50. <https://doi.org/10.26178/ae.2022.61.22.003>
- Носова А.О., Успенская М.В. Микропластик в почве: воздействие на экосистемы, потенциальные источники и аналитические методы исследования (обзор) // Южно-Сибирский научный вестник. 2022. № 4 (44). С. 19–37. <https://doi.org/10.25699/SSSB.2022.44.4.001>
- Полевой определитель почв России. Москва: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
- Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н., Жарикова Е.А., Матинян Н.Н., Наквасина Е.Н., Сивцева Н.Е. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1155–1164. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14100104>
- Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию // Почвоведение. 2011. № 5. С. 611–623.

- Пузаченко Ю.Г., Карпачевский Л.А., Взнуздаева Н.А. Возможности применения информационно-логического анализа при изучении почвы на примере ее влажности // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. Москва: Наука, 1970. 220 с.
- Ручкина К.В., Мерзляков О.Э. Основные правила отбора и подготовки проб почв для детекции микропластика. // Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Киров, 24–25 апреля 2023 г.). Киров: Вятский государственный университет, 2023. Книга 2. С. 99–103.
- Самофалова И.А. Информационно-логический анализ дифференциации почвенного покрова высотных геосистем на Среднем Урале // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 11 (157). С. 105–114.
- Сапрыкин А.И., Самойлов П.П. Микро- и нанопластики в окружающей среде (Аналитика, источники, распределение и проблемы экологии): аналитический обзор. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2021. 115 с. (Сер. Экология. Вып. 110).
- Сорочкин В.М. О применении информационно-логического метода в почвенных исследованиях // Почвоведение. 1977. № 9. С. 131–142.
- Франк Ю.А., Воробьев Е.Д., Рахматуллина С.Н., Трифонов А.А., Воробьев Д.С. Скрининг содержания микропластика в поверхностных водах российских рек // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 9. С. 67–71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-9-67-71>
- Brander S.M., Renick V.C., Foley M.M., Steele C., Woo M., Lusher A., Carr S., Helm P., Box C., Cherniak S., Andrews R.C., Rochman C.M. Sampling and quality assurance and quality control: a guide for scientists investigating the occurrence of microplastics across matrices // Applied Spectroscopy. 2020. Vol. 74. P. 1099–1125. <https://doi.org/10.1177/0003702820945713>
- Christensen N.D., Wisinger C.E., Maynard L.A., Chauhan N., Schubert J.T., Czuba J.A., Barone J.R. Transport and characterization of microplastics in inland waterways // Journal of Water Process Engineering. 2020. Vol. 38. P. 101640 <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101640>
- He D., Luo Y., Lu S., Liu M., Song Y., Lei L. Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks // Trends in Analytical Chemistry. 2018. Vol. 109. P. 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.006>
- ISO 24187:2023. Principles for the analysis of microplastics present in the environment. International Standard published [60.60]. Edition 1. Publication date: 2023-09. 21 p.
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 2014, update 2015. 181 p.
- Khalid N., Aqeel M., Noman A. Microplastics could be a threat to plants in terrestrial systems directly or indirectly // Environmental Pollution. 2020. Vol. 267. P. 115653. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115653>
- Khalid N., Aqeel M., Noman A., Khan S.M., Akhter N. Interactions and effects of microplastics with heavy metals in aquatic and terrestrial environments // Environmental Pollution. 2021. Vol. 290. P. 118104. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118104>
- Prume J.A., Laermans H., Löder M.G.J., Laforsch C., Bogner C., Koch M. Evaluating the effectiveness of the microplastic sediment separator (MPSS) // Microplastics and Nanoplastics. 2023. Vol. 3. No. 26. <https://doi.org/10.1186/s43591-023-00073-3>
- Rillig M.C., Ziersch L., Hempel S. Microplastic transport in soil by earthworms // Scientific Reports. 2017. Vol. 7 (1). P. 1362. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-01594-7>
- Scheurer M., Bigalke M. Microplastics in Swiss floodplain soils // Environmental science & technology. 2018. Vol. 52 (6). P. 3591–3598. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.7b06003>
- Wang J., Liu X., Li Y., Powell T., Wang X., Wang G., Zhang P. Microplastics as contaminants in the soil environment: a mini-review // Science of the Total Environment. 2019. Vol. 691. P. 848–857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.209>
- Weber C.J., Opp C., Prume J.A., Koch M., Chifard P. Meso- and microplastic distribution and spatial connections to metal contaminations in highly cultivated and urbanised floodplain soils – a case study from the Nidda River (Germany) // Microplastics Nanoplastics. 2022. Vol. 2. No. 25. P. 25. <https://doi.org/10.1186/s43591-022-00044-0>

Zhang S., Han B., Sun Y., Wang F. Microplastics influence the adsorption and desorption characteristics of Cd in an agricultural soil // Journal of Hazardous Materials. 2020. Vol. 388. P. 121775. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121775>

Zhou Y., Liu X., Wang J. Characterization of microplastics and the association of heavy metals with microplastics in suburban soil of central China // Science of the Total Environment. 2019. Vol. 694. P.133798. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133798>

Zimmermann L., Dierkes G., Ternes T.A., Völker C., Wagner M. Benchmarking the in Vitro Toxicity and Chemical Composition of Plastic Consumer Products // Environmental Science and Technology. 2019. Vol. 53 (19). P. 11467–11477. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.9b02293>

Поступила в редакцию 10.06.2024

Принята 27.08.2024

Опубликована 28.10.2024

Сведения об авторах:

Власов Михаил Николаевич – кандидат биологических наук, доцент кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова» (г. Пермь, Россия); 79523305113@yandex.ru

Васильев Андрей Алексеевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова» (г. Пермь, Россия); a.a.vasilev@list.ru

Самофалова Ираида Алексеевна – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова» (г. Пермь, Россия); samofalovairaida@mail.ru

Гилев Виталий Юрьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова» (г. Пермь, Россия); pochva2005@yandex.ru

Чашин Алексей Николаевич – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова» (г. Пермь, Россия); chascshin@mail.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Soil contamination by plastic particles in the floodplain of the small Danilikha River in an urbanized area

© 2024 M. N. Vlasov , A. A. Vasiliev , I. A. Samofalova , V. Yu. Gilev , A. N. Chashchin 

Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Prianishnikov, Petropavlovskaya 23, Perm, Russia. E-mail: 79523305113@yandex.ru

The aim of the study. To assess the content, morphology and surface degradation degree of plastic particles in the Danilikha river floodplain soils in an urbanized area.

Location and time of the study. The study was conducted in a recreational area in the projected “Kamensky Square”, located on the left bank of the low floodplain of the small Danilikha River (a left-bank tributary of the Kama River) in the city of Perm. Urban-alluvial gray-humus gley soils were identified in the area. Soil samples were taken from surface horizons in July 2023.

Methods. To extract plastic particles from soil we used visual selection, sieving, and flotation in a saturated NaCl solution. The shape and type of plastic particles were determined visually by external features. Natural organic matter was removed with Fenton's reagent. Surface morphology of the of plastic particles and their number were determined using a stereomicroscope. Information-logical analysis was used to determine the relationship between the shape of plastic particles and their sizes.

Results. In the combined soil sample from the surface horizons, the number of plastic particles reached 177 pieces/kg (excluding fibers). The mass of plastic particles, including fibers, was 0.7 g/kg. Films prevailed quantitatively among the forms of plastic particles (62%), whereas foam and foam balls made up 34% and 4%, respectively. By mass, particles predominated in the following sequence: foam balls > film > fiber > foam. The size range was dominated by large plastic particles from 1.1 to 15 mm. Specific sizes of plastic particles for different shapes were established.

Conclusions. For the first time, the content of plastic particles in the surface soil horizons of the Danilikh river floodplain in an urbanized territory was studied using the case of a recreational zone in the projected Kamensky Square. Plastic particles had different sizes and shapes, which indicated a variety of contamination sources. Contamination of the studied soils with plastic particles can be regarded as moderate. The surface degradation degree of plastic particles indicated their active weathering, which occurs in soil under neutral reaction. The surface degradation of the plastic particles was also actively influenced by external factors that act before plastics enter alluvial soils. To detect soil contamination with plastic particles, we recommend Perm municipal authorities to organize monitoring of plastics content in areas with high anthropogenic pressure.

Keywords: plastic particles; contamination; urban alluvial soil; river floodplain; shapes and size of particles.

How to cite: Vlasov M.N., Vasiliev A.A., Samofalova I.A., Gilev V.Yu., Chashchin A.N. Soil contamination by plastic particles in the floodplain of the small Danilikh River in an urbanized area. *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 7(4). e274. DOI: [10.31251/pos.v7i4.274](https://doi.org/10.31251/pos.v7i4.274) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

- Vasiliev A.A., Vlasov M.N. Ecological and geochemical state of urban alluvial soils of floodplains of small rivers using the example of the city of Perm. Perm: IPC "Prokrost", 2023. 261 p. (in Russian).
- Ganzhara N.F., Borisov B.A., Baibekov R.F. Workshop on soil science. Moscow: Reart LLC, 2017. 164 p. (in Russian).
- Gerasimova M.I., Stroganova M.N., Mozharova N.V., Prokofieva T.V. Anthropogenic soils: textbook for universities. 2nd ed., revised. and additional. Moscow: Yurayt Publishing House, 2023. 237 p. (in Russian).
- Daineko E.K., Friedland V.M. Experience in using information-logical analysis to clarify the relationships between soil formation factors and some morphological properties of soils. In book: Structure of soil cover, soil combinations, their classification and methods of study. Moscow: Nauka Publ., 1969. P. 56–57. (in Russian).
- Classification and diagnostics of soils of Russian / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimov. Smolensk: Oykumena Publ., 2004. 342 p. (in Russian).
- Kukharchyk T.I., Chernyk V.D. Soil pollution by microplastic in the impact zone of enterprise for the production of expanded polystyrene. *Pochvovedenie*. 2022. No. 3. P. 370–380. (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0032180X2203008X>
- Leonov V.D., Tiunov A.V. Interaction of invertebrates and synthetic polymers in soil: a review. *Russian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 51. No. 6. P. 503–517. <https://doi.org/10.1134/S1067413620060041>
- Morachevskaya E.V., Voronina L.P., Larina G.E. Sources and ways of microplastics translocation in soil and plants. *Agrochemistry and Ecology Problems*. 2022. No. 1 P. 41–50. (in Russian). <https://doi.org/10.26178/ae.2022.61.22.003>
- Nosova A.O., Uspenskaya M.V. Microplastics in soil: impacts on ecosystems, potential sources and analytical research methods (review). *South-Siberian Scientific Bulletin*. 2022. No. 4 (44). P. 19–37. (in Russian). <https://doi.org/10.25699/SSSB.2022.44.4.001>
- Field guide for Russian soil. Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute, 2008. 182 p. (in Russian).
- Prokof'eva T.V., Gerasimova M.I., Bezuglova O.S., Gorbov S.N., Bakhmatova K.A., Matinyan N.N., Gol'eva A.A., Zharikova E.A., Nakvasina E.N., Sivtseva N.E. Inclusion of soils and soil-like bodies of urban territories into the Russian soil classification system. *Eurasian Soil Science*. 2014. Vol. 47. No. 10. P. 959–967. <https://doi.org/10.1134/S1064229314100093>
- Prokofyeva T.V., Martynenko I.A., Ivannikov F.A. Classification of Moscow soils and parent materials and its possible inclusion in the classification system of Russian soils. *Eurasian Soil Science*. 2011. Vol. 44. No. 5. P. 561–571. <https://doi.org/10.1134/S1064229311050127>
- Puzachenko Yu.G., Karpachevsky L.A., Vznuzdaeva N.A. Possibilities of using information-logical analysis in studying soil using the example of its moisture. In book: Patterns of spatial variation in soil properties and information-statistical methods for their study. Moscow: Nauka Publ., 1970. 220 p. (in Russian).
- Ruchkina K.V., Merzlyakov O.E. Basic rules for the selection and preparation of soil samples for the detection of microplastics. In book: Ecology of the native land: problems and ways to solve them. Materials of the XVIII All-Russian Scientific and Practical conference with international participation (Kirov, 24–25 April 2023). Kirov: Vyatka State University, 2023. Book 2. P. 99–103. (in Russian).
- Samofalova I.A. Information-logical analysis of soil cover differentiation of the altitude geosystems in the Middle Urals. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2017. No. 11 (157). P. 105–114.

- Saprykin A.I., Samoilov P.P. Micro- and nanoplastics in the environment (Analytics, sources, distribution and environmental issues): analytical review. Novosibirsk: GPNTB SB RAS, 2021. 115 с. (Ser. Ecology. Vol. 110). (in Russian).
- Sorochkin V.M. On the application of the information-logical method in soil research. *Pochvovedenie*. 1977. No 9. P. 131–142. (in Russian).
- Frank Yu.A., Vorobyov E.D., Rakhmatullina S.N., Trifonov A.A., Vorobyov D.S. Screening of microplastic content in surface waters of Russian rivers. *Ecology and Industry of Russia*. 2022. Vol. 26. No. 9. P. 67–71. (in Russian). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2022-9-67-71>
- Brander S.M., Renick V.C., Foley M.M., Steele C., Woo M., Lusher A., Carr S., Helm P., Box C., Cherniak S., Andrews R.C., Rochman C.M. Sampling and quality assurance and quality control: a guide for scientists investigating the occurrence of microplastics across matrices. *Applied Spectroscopy*. 2020. Vol. 74. P. 1099–1125. <https://doi.org/10.1177/0003702820945713>
- Christensen N.D., Wisinger C.E., Maynard L.A., Chauhan N., Schubert J.T., Czuba J.A., Barone J.R. Transport and characterization of microplastics in inland waterways. *Journal of Water Process Engineering*. 2020. Vol. 38. P. 101640 <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101640>
- He D., Luo Y., Lu S., Liu M., Song Y., Lei L. Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *Trends in Analytical Chemistry*. 2018. Vol. 109. P. 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.006>
- ISO 24187:2023. Principles for the analysis of microplastics present in the environment. International Standard published [60.60]. Edition 1. Publication date: 2023-09. 21 p.
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 2014, update 2015. 181 p.
- Khalid N., Aqeel M., Noman A. Microplastics could be a threat to plants in terrestrial systems directly or indirectly. *Environmental Pollution*. 2020. Vol. 267. P. 115653. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115653>
- Khalid N., Aqeel M., Noman A., Khan S.M., Akhter N. Interactions and effects of microplastics with heavy metals in aquatic and terrestrial environments. *Environmental Pollution*. 2021. Vol. 290. P. 118104. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118104>
- Prume J.A., Laermans H., Löder M.G.J., Laforsch C., Bogner C., Koch M. Evaluating the effectiveness of the microplastic sediment separator (MPSS). *Microplastics and Nanoplastics*. 2023. Vol. 3. No. 26. <https://doi.org/10.1186/s43591-023-00073-3>
- Rillig M.C., Ziersch L., Hempel S. Microplastic transport in soil by earthworms. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7 (1). P. 1362. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-01594-7>
- Scheurer M., Bigalke M. Microplastics in Swiss floodplain soils. *Environmental science & technology*. 2018. Vol. 52 (6). P. 3591–3598. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.7b06003>
- Wang J., Liu X., Li Y., Powell T., Wang X., Wang G., Zhang P. Microplastics as contaminants in the soil environment: a mini-review. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 691. P. 848–857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.209>
- Weber C.J., Opp C., Prume J.A., Koch M., Chifard P. Meso- and microplastic distribution and spatial connections to metal contaminations in highly cultivated and urbanised floodplain soils – a case study from the Nidda River (Germany). *Microplastics Nanoplastics*. 2022. Vol. 2. No. 25. P. 25. <https://doi.org/10.1186/s43591-022-00044-0>
- Zhang S., Han B., Sun Y., Wang F. Microplastics influence the adsorption and desorption characteristics of Cd in an agricultural soil. *Journal of Hazardous Materials*. 2020. Vol. 388. P. 121775. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121775>
- Zhou Y., Liu X., Wang J. Characterization of microplastics and the association of heavy metals with microplastics in suburban soil of central China. *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 694. P.133798. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133798>
- Zimmermann L., Dierkes G., Ternes T.A., Völker C., Wagner M. Benchmarking the in Vitro Toxicity and Chemical Composition of Plastic Consumer Products. *Environmental Science and Technology*. 2019. Vol. 53 (19). P. 11467–11477. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.9b02293>

Received 10 June 2024
Accepted 27 August 2024
Published 28 October 2024

About the authors:

Mikhail N. Vlasov – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Agrochemistry and Soil Science in the Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (Perm, Russia); 79523305113@yandex.ru

Andrei A. Vasilev – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Agrochemistry and Soil Science in the Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (Perm, Russia); a.a.vasilev@list.ru

Iraida A. Samofalova – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Agrochemistry and Soil Science in the Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (Perm, Russia); samofalovairaida@mail.ru

Vitaly Yu. Gilev – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agrochemistry and Soil Science in the Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (Perm, Russia); pochva2005@yandex.ru

Aleksey N. Chashchin – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Agrochemistry and Soil Science in the Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (Perm, Russia); chascshin@mail.ru

The authors read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)