

УДК 502/504

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ПОЙМЕННОМ АЛЛЮВИИ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

© 2024 г. О. Ю. Сурсимова^{а, *}, Л. В. Муравьева^а, А. Р. Сергеев^а,
О. А. Тихомиров^а, Н. Б. Прокофьева^а

^аТверской государственный университет, Тверь, Россия

*e-mail: Sursimova.OY@tversu.ru

Поступила в редакцию 10.02.2023 г.

После доработки 22.03.2023 г.

Принята к публикации 07.06.2023 г.

Представлены результаты исследования накопления микропластика в пойменном аллювии р. Волги в районе г. Твери. Пробы грунта отбирали в черте города, выше и ниже по течению реки. Обработку проб проводили по модифицированному методу Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA). Частицы микропластика выявлены во всех пробах, наибольшее количество обнаружено в районе размещения предприятий по производству и переработке пластика. Установлено, что во всех отобранных образцах преобладают пленки, гранулы и фрагменты частиц пластика размером от 1 до 2.5 мм по наибольшей оси.

Ключевые слова: микропластик, пойменный аллювий, р. Волга, морфологические характеристики частиц микропластика

DOI: 10.31857/S0320965224020158 **EDN:** xsfbwk

В настоящее время загрязнение окружающей среды устойчивыми к разрушению пластиковыми отходами — одна из актуальных проблем современной экологии. Физико-химические свойства пластика делают его незаменимым в промышленном производстве широкого круга изделий различного назначения. Пластиковые отходы частично перерабатываются, однако значительное их количество направляется на свалки, попадает в окружающую среду, где в результате механических воздействий, процессов фотолитиза и гидролиза пластик распадается на микрочастицы (Barnes et al., 2009).

После исследований в работах (Thompson et al., 2004; Arthur et al., 2009; Cole et al., 2011 и др.) объединенная группа экспертов по научным аспектам защиты морской среды (GESAMP) определила МП как “пластиковые частицы диаметром <5 мм, включая частицы диапазона (1 нм)”^{1, 2}. Установление верхнего предела МП в 5 мм по наибольшему измерению получило распространение по всему миру. По определению из работы (Frias, Nash, 2019), МП — это любая синтетическая твердая частица или полимерный материал, правильной

или неправильной формы, размером от 1 мкм до 5 мм, первичного или вторичного происхождения, нерастворимая в воде. Микрочастицы имеют широкий спектр морфологических признаков и низкую плотность, в результате чего легко разносятся на большие расстояния с воздушными и водными потоками, а также способны накапливаться в живых организмах (Каурова, 2021).

Одним из основных путей переноса МП на суше являются реки, при этом значительная часть частиц оседает вдоль берегов в пойменном аллювии (Rilling, 2012). Кроме того, береговая полоса часто подвержена высокой антропогенной нагрузке в результате рекреационного использования, поступления загрязненных сточных вод, что также способствует накоплению частиц полимеров. Следует отметить, что вопросы участия пластика в формировании экологического состояния Верхневолжского региона почти не исследованы. В связи с этим, проблема загрязнения Верхней Волги МП, несомненно, актуальна и требует всестороннего рассмотрения. Была поставлена задача изучить содержание и распространение частиц микропластика в пойменном аллювии р. Волги в районе г. Твери и дать анализ их морфологических характеристик.

Для исследования загрязнения МП на территории Верхневолжья в октябре 2022 г. были

¹ GESAMP. 2015. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment (part 1).

² GESAMP. 2016. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment (part 2).

Сокращения: МП — микропластик.

отобраны пробы грунта по берегам р. Волги на протяжении 30 км. Образцы изымали на удалении 0.5–1.5 м от уреза воды в 8 точках. Все точки располагались в пределах современной поймы р. Волги (естественная пойма затоплена при создании Иваньковского водохранилища), представляющей собой полосу шириной 3–12 м. Пойма ограничена крутым, местами обрывистым склоном первой надпойменной террасы высотой 2–2.5 м; с поверхности сложена песчаным и супесчаным аллювием, с включением гравийно-галечного материала. Вдоль склона террасы развита древесно-кустарниковая растительность (из ивы трех- (*Salix triandra* L.) и пятитычинковой (*Salix pentandra* L.), ивы козьей (*Salix caprea* L.), ольхи серой (*Alnus incana* L.). Ближе к урезу и на мелководье фрагментарно распространены осоки (водная (*Carex aquatilis* L.), острая (*Carex acuta* L.) и др.), вейник наземный (*Calamagrostis epigejos* L.), тростник обыкновенный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.). Заросли тростника наиболее развиты на точке № 6. Минимальный растительный покров характерен для точки № 2 (городской пляж). Образцы грунта отбирали на участках пляжевых отложений, свободных от растительного покрова.

Пункты отбора проб находились в районе г. Твери (первого крупного промышленного центра в верхнем течении реки с населением >400 тыс. человек). Точка № 1 располагалась в 12 км выше по течению р. Волги от г. Твери (рис. 1). Предполагалось рассматривать ее как фоновую, не подверженную влиянию города. Точки № 2–5 находились в черте города: точка № 2 – в пределах городского пляжа, точки № 3 и № 4 – в местах неорганизованного отдыха; точка № 5 – в 300 м к юго-западу от комбината по производству стройматериалов и предприятий машиностроения. Точка № 6 находилась в пригородной зоне – ниже по течению р. Волги относительно крупной промышленной зоны (в 0.5 км ниже городских очистных сооружений, в 1.5 км ниже речного порта и в 3.5 км ниже предприятий по переработке и производству пластиковых изделий). Точки № 7–8 размещались за городом, ниже по течению р. Волги на удалении 7 и 12 км от точки № 6. Они служили контролем возможного выноса частиц МП с городской территории.

Образцы влажного песчаного пляжного грунта в каждом пункте отбирали с четырех пробных площадок размером 0.25 м × 0.25 м и глубиной 5 см. Пробы транспортировали в лабораторию для просушки и дальнейшего анализа. В камеральных условиях проводили обработку образцов с применением модифицированного метода NOAA (Ma-

sur et al., 2015; (Зобков, Есюкова, 2018; Глушко и др., 2021).

Пробы грунта просушивали в сушильном шкафу при температуре 65–70°C и в дальнейшем просеивались через набор сит при помощи вибрационного анализатора для выделения следующих размерных групп: >5 мм, 1–5 мм, <1 мм. Для анализа использовали фракцию с размером частиц 1–5 мм, в пределах этой группы проводили дальнейшее исследование. Частицы МП, определяемые визуальным путем, извлекались пинцетом. Оставшиеся в пробе частицы выделяли при помощи метода флотации в солевом растворе (35‰). Для очищения от органических примесей проводили окисление проб перекисью водорода концентрацией 55%. Выявленные частицы промывали дистиллированной водой, помещали в стерильные чашки Петри, просушивали. При помощи цифрового USB-микроскопа “Микмед 5.0” определяли общее количество частиц в каждой пробе и разделяли их на морфологические типы согласно классификации в работе (Frias, Nash, 2019), определяли массу, размер и цвет частиц. Дополнительно проводили тест “горячей иглой” (Hidalgo-Ruz et al., 2012).

Первичный анализ показал, что суммарное количество частиц МП во всех восьми пробах достигало 1000 ед. общей массой 6.97 г. Наиболее распространенной категорией частиц по форме были пленки – 53.1% общего количества (табл. 1), фрагменты нерегулярной формы составили 31.4, гранулы призматической, кубовидной и ромбовидной формы – 14.1, сферы – 0.8, волокна – 0.6. Наиболее многочисленную группу образовали частицы размером 1–2.5 мм (74.3%), большую их часть представляли гранулы и пленки. Оценка цветовой гаммы позволила сделать вывод о высокой распространенности прозрачных частиц микропластика, а также частиц белого, бежевого и голубого цвета.

Выявлены существенные различия содержания МП в разных пунктах. В большинстве проб содержание частиц МП варьировало от 3 до 14 ед./м², лишь в точке № 6 оно составило 937 ед./м².

В пробе точки № 1 обнаружено незначительное количество МП – две гранулы и две пленки общей массой 0.0015 г. В точках № 2–4 количество частиц варьировало от 3 до 13, наибольшее загрязнение было в точке № 2 (на городском пляже). В точках № 3–4 преобладали пленки, также встречались фрагменты и сферы. На пляже >50% (53.9%) частиц были представлены гранулами. Масса МП на точках № 2–4 колебалась от 0.0025 до 0.029 г. В пробе точки № 5 выявлено большое содержание пленок (90% общего количества частиц) массой 0.23 г.

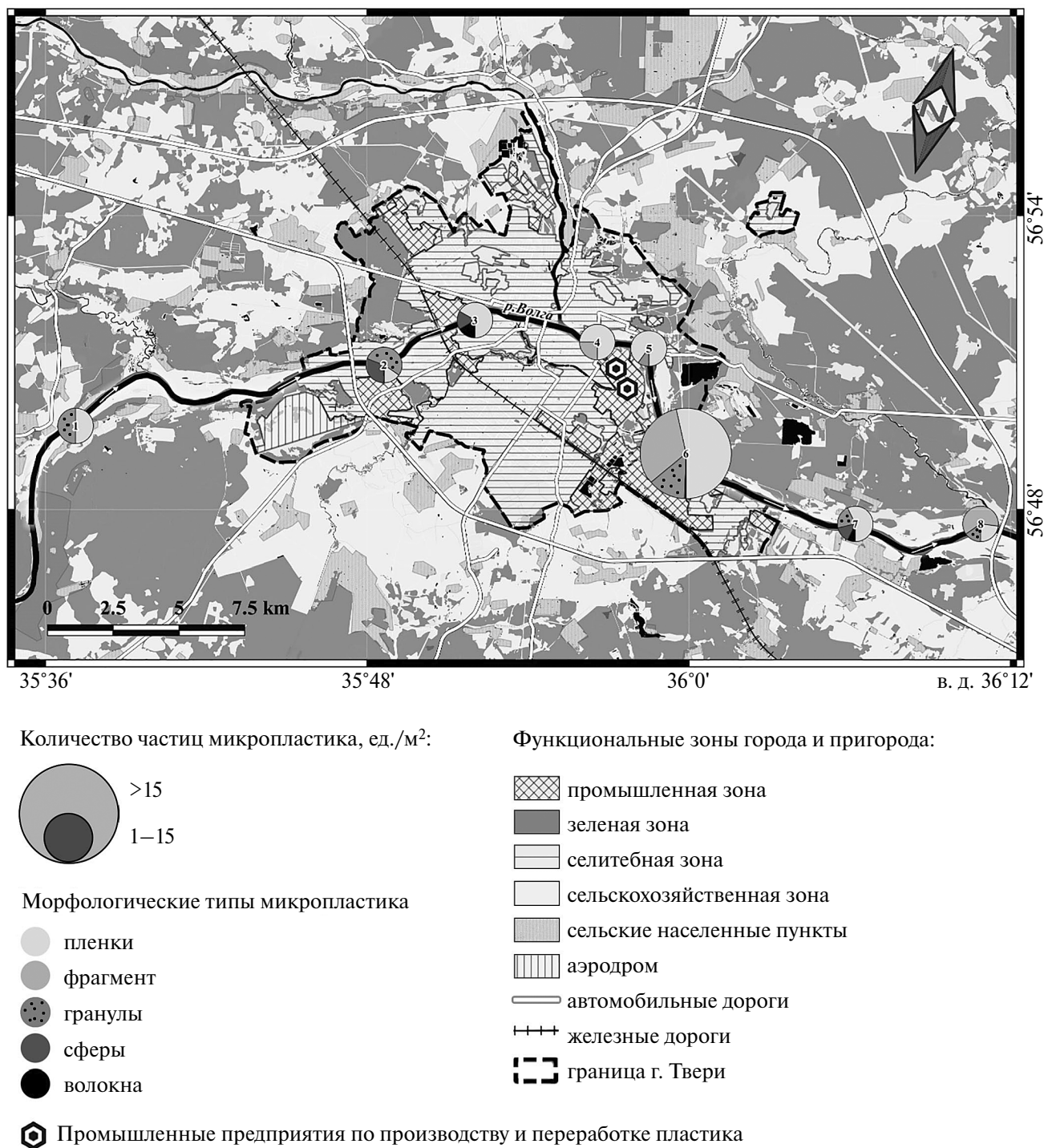


Рис. 1. Распределение частиц МП в пойменном аллювии р. Волги в районе г. Твери, 2022 г. 1–8 — точки отбора пробы.

Особое внимание следует уделить результатам, полученным в точке № 6 (д. Иенево). Участок расположен на левом берегу р. Волги, ниже по течению относительно промыш-

ленной зоны г. Твери. На этой индустриальной площадке располагаются два крупных предприятия (рис. 1) по производству и переработке синтетических полимеров: завод

Таблица 1. Содержание частиц МП разной формы в пойменном аллювии р. Волги в районе г. Твери

Точки отбора пробы	Общее количество частиц, ед./м ²	Количество частиц микропластика разной формы									
		гранулы		фрагменты		пленки		волокна		сферы	
		ед./м ²	%	ед./м ²	%	ед./м ²	%	ед./м ²	%	ед./м ²	%
1	4	2	50	0	0	2	50	0	0	0	0
2	13	7	53.9	0	0	2	15.4	0	0	4	30.8
3	6	0	0	0	0	4	66.7	1	16.7	1	16.7
4	3	0	0	1	33.3	2	66.7	0	0	0	0
5	10	1	10	0	0	9	90	0	0	0	0
6	937	126	13.5	305	32.5	501	53.5	4	0.4	1	0,1
7	14	3	21.4	0	0	8	57.1	1	7.1	2	14.3
8	13	2	15.4	8	61.5	3	23.1	0	0	0	0

ОАО «Сибур-ПЭТФ»³ и Тверской завод вторичных полимеров (ТЗВП).⁴

В пробе, взятой на точке № 6, обнаружено 937 ед./м² МП общей массой 6.66 г. Основная часть МП была в виде пленок (53.5%) и фрагментов (25%) Пленки представлены преимущественно прозрачными разновидностями, фрагменты — голубыми, а также прозрачными и белыми. Следует отметить, что в этой пробе присутствовали все морфологические типы МП. Кроме того, только в этой пробе отмечено большое разнообразие цветовых вариантов, встречены частицы красного, оранжевого, синего, зеленого, фиолетового, коричневого цвета. По-видимому, такое значительное загрязнение связано с деятельностью указанных предприятий. Поскольку содержание МП в сточных водах этих заводов не нормируется и не определяется, необходимы дальнейшие исследования для уточнения источника его поступления. Известно, что концентрация частиц в прибрежных грунтах значительно превышает таковую в водной толще (Поздняков и др., 2020). Кроме того, накоплению МП могло способствовать наличие воздушно-водной растительности, обильно представленной на данной точке. Исследования в работе (Berezina et al., 2021) свидетельствуют о значимости растительной биоты в транспорте и накоплении микропластика. Казмирук (2022) выявил ряд механизмов, в результате которых зоны из макрофитов спо-

собны эффективно задерживать пластиковые микропластики.

В пробах на точках № 7 и № 8 содержание МП составило 13–14 ед./м², что значительно меньше, чем в точке № 6 и немного больше, чем на точках, расположенных выше по течению. Морфологические характеристики и цвет частиц сходны с таковыми на точках № 1–№ 5. Преобладают частицы преимущественно белого цвета и прозрачные, в точке № 7 — сферы и гранулы, в точке № 8 — гранулы, фрагменты и пленки. Таким образом, в 7 км ниже по течению от точки № 6 существенного накопления МП не обнаружено. Требуется дальнейшее изучение переноса частиц МП водным потоком и их аккумуляции в пойменном аллювии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что МП обнаружен на всех обследованных участках, его среднее содержание было 9 ± 1.88 ед./м² (без учета точки № 6). Выявлена тенденция незначительного увеличения количества частиц в местах активного пляжного отдыха г. Твери (точки № 2 и № 3) и вблизи промышленных предприятий (точка № 5). Наиболее высокий уровень загрязнения МП обнаружен в точке № 6, расположенной ниже по течению реки от промышленной зоны.

Полученные данные свидетельствуют о наличии проблемы загрязнения Верхней Волги частицами МП. Дальнейшие исследования предполагают изучение источников поступления, выявление путей миграции, а также анализ полимерного состава микропластика методом ИК-Фурье спектроскопии. Необходимо расширение территориального охвата и изучения динамики накопления МП в компонентах природной среды.

³ Производит полиэтилентерефталат (ПЭТФ) до 75.250 тыс. т/год и вторичный полиэтилентерефталат до 1.5 тыс. т/год (<https://www.sibur.ru/SiburPETF/about/>).

⁴ Перерабатывает пластиковые потребительские отходы. ТЗВП производит ПЭТ-хлопья (ПЭТ — полиэтилентерефталат), ПНД — регранулят (ПНД — полиэтилен низкого давления), ПВД-регранулят (ПВД — вторичный полиэтилен высокого давления низкой плотности), полиэстеровую упаковочную ленту. Цвет производимых хлопьев и гранул — коричневый, голубой, зеленый, красный, бежевый, прозрачный (<https://ecotechpro.ru/company>).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено на личные средства авторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Глушко А.Е., Беспалова Л.А. 2021. Микропластик в пляжевых отложениях Азовского моря: морфологические и морфометрические особенности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. № 1. С. 99.
- Зобков М.Б., Есюкова Е.Е. 2018. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовка и анализ проб воды, донных отложений и береговых наносов // Океанология. Т. 58. № 1. С. 149.
- Казмирук В.Д. 2022. Почему в зарослях макрофитов много пластика: действующие механизмы // Матер. I Всерос. конф. с междунар. участием по загрязнению окружающей среды микропластиком "MicroPlasticsEnvironment-2022"
- Каурова З. 2021. Содержание микропластиковых частиц в воде в верхнем и среднем течении реки Нева // Norwegian J. DeveloP. Int. Sci. № 76–1. С. 3.
- Поздняков Ш.Р., Иванова Е.В., Гузева А.В. и др. 2020. Исследование содержания частиц микропластика в воде, донных отложениях и грунтах прибрежной территории Невской губы Финского залива // Водн. ресурсы. Т. 47. № 4. С. 599.
- Arthur C., Baker J., Bamford H. 2009. Proceedings of the international research workshop on the occurrence, effects, and fate of microplastic marine debris. NOAA marine debris program. Technical memorandum NOS-OR&R-30.
- Barnes D., Galgani F., Thompson R., Barlaz M. 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments // Philosophical Transactions of the Royal Society, B: Biol. Sci. V. 364. P. 1985.
- Berezina A., Yakushev E., Savchuk O. et al. 2021. Modeling the influence from biota and organic matter on the transport dynamics of microplastics in the water column and bottom sediments in the Oslo Fjord // Water. V. 13(19). P. 2690.
- Cole M., Lindeque P., Halsband C., Galloway T. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review // Mar. Pollut. Bull. V. 62. P. 2588.
- Frias J., Nash R. 2019. Microplastics: finding a consensus on the definition // Mar. Pollut. Bull. V. 138. P. 145.
- Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson R.C., Thiel M. 2012. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification // Environ. Sci. Technol. V. 46. P. 3060.
- Masura J., Baker J., Foster G. et al. 2015. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48.
- Rilling M.C. 2012. Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? // Environ. Sci. Technol. V. 46. P. 6453.
- Thompson R.C., Olsen Y.S., Mitchell R.P. et al. 2004. Lost at sea: where is all the plastic? // Science. V. 304(5672). P. 838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>.

Research of the Microplastic Content in the Floodplain Alluvium of the Upper Volga

O. Y. Sursimova^{1,*}, L. V. Muravieva¹, A. R. Sergeev¹,
O. A. Tikhomirov¹, N. B. Prokofieva¹

¹Tver State University, Tver, Russia

*e-mail: Sursimova.OY@tversu.ru

The results of a study of the accumulation of microplastics in the caught alluvium of the river. Volga near the city of Tver. There were significant soil samples within the city, upstream and downstream of the river. Sample processing was carried out according to the modified method of the US Atmospheric and Oceanic Administration (NOAA). Microplastic particles are found in all samples, limiting the number of coverages in the inclusion area for the production and increase in the amount of plastic. It was found that films, granules and fragments of plastic particles ranging in size from 1 to 2.5 mm along the largest axis predominate in all selected samples.

Keywords: microplastics, caught alluvium, River Volga, morphological characteristics of microplastic particles