

Атмосферное осаждение микропластика в городе Барнауле

Д. А. Филиппенко , Н. С. Малыгина, Д. В. Черных

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Российская Федерация
(656038, г. Барнаул, Молодежная ул., 1)*

Аннотация. Цель – оценка атмосферного осаждения микропластика (МП) в Барнаульском городском округе и факторов его пространственного распределения.

Материалы и методы. Пассивный отбор проб атмосферных осадков за период 15.05.2024-15.06.2024 в 7 точках. Идентификация МП методом флуоресцентной микроскопии (окрашивание Нильским красным) после обработки H_2O_2 . Анализ ветровых режимов и ландшафтных условий.

Результаты и обсуждение. Суточное осаждение варьировало от 32,3 до 225,8 частиц/м²/день, максимум зафиксирован в жилом районе «Солнечная поляна» (225,8) и вблизи змеиногорского тракта (НИИ им. Лисавенко, 209,8). Доминируют фрагменты (78,9 %) полимеров PVC (24,6 %), PP (24,6 %), LDPE (20,4 %), связанные с износом автотранспорта и упаковки. Распределение обусловлено западными ветрами, плотностью застройки и антропогенной нагрузкой.

Заключение. Уровень осаждения МП в Барнаульском городском округе сопоставим с другими урбанизированными территориями. Ключевые факторы влияния – локальные источники (транспорт), ветровой перенос и морфология частиц. Результаты подтверждают вторичное происхождение МП и необходимость регулирования использования пластика.

Ключевые слова: атмосферное осаждение микропластика, Барнаул, ветровой перенос, антропогенная нагрузка, Нильский красный, флуоресцентная микроскопия.

Источник финансирования: Исследование выполнено в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН (№ FUFZ-2026-0003).

Для цитирования: Филиппенко Д. А., Малыгина Н. С., Черных Д. В. Атмосферное осаждение микропластика в городе Барнауле // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2026, № 1, с. 142-151. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2026/1/142-151>

ВВЕДЕНИЕ

Промышленное производство пластмасс началось в 1907 г. В 1950 г. мировое производство пластмасс достигло 2 млн тонн в год, однако в 2022 г. их производство достигло 400,3 млн тонн в год, что позволяет охарактеризовать современную эпоху как «эпоху пластмасс» [11].

Под микропластиком (МП) понимают частицы пластика, размером 1-5 мкм, образующихся в результате деградации пластмассовых изделий или в результате целенаправленного производства гранул и сфер. Данные частицы способны образовывать гетероагрегаты с природными компонентами и выступать в качестве ядер конденсации в атмосфере [11]. МП был обнаружен во всех средах, особенно на урбанизированных территориях, где суточное осаждение варьирует от нескольких десятков до нескольких тысяч шт/м²/день [15, 18]. Благодаря своим морфофизиологическим свойствам МП стал повсеместным загрязнителем атмосферы и потенциальной угрозой для экосистем и человека [12]. Несмотря на растущее число работ, посвящённых МП, исследований атмосферного МП, особенно его осаждения в городской среде, по-прежнему недостаточно [8, 10].

Целью исследования являлась оценка атмосферного осаждения МП в городской среде г. Барнаула и выяв-

ление ключевых факторов, влияющих на его пространственное распределение и состав.

Задачи исследования: а) определить объёмы поступления МП через атмосферное осаждение в различных частях Барнаульского городского округа в начале теплового периода; б) идентифицировать доминирующие типы полимеров и формы частиц МП и установить их связь с локальными источниками загрязнения (транспорт, промышленность, упаковочные материалы); в) проанализировать влияние аэродинамических свойств МП и ветрового переноса на его распределение в атмосфере.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Город Барнаул является административным центром Алтайского края. Он расположен в лесостепной зоне Западно-Сибирской равнины, на северо-востоке Приобского плато, в верхнем течении р. Обь, преимущественно на её левом берегу, в месте впадения в Обь р. Барнаулка [6]. На 1 января 2025 г. население Барнаула составило 621 598 человек, округа – 688 818 человек [3].

В рамках исследования был произведён отбор осажённых частиц МП пассивным методом в семи точках Барнаульского городского округа, расположенных в различных функциональных зонах. Кроме этого, точки отбора охватывают три основные ландшафтные



Рис. 1. Точки отбора проб в Барнаульском городском округе
[Fig. 1. Sampling points in Barnaul city district]

Таблица 1

Локации с точками отбора проб в Барнаульском городском округе и их характеристика [2]
[Table 1. Locations with sampling points in Barnaul city district and their characteristics]

Точка отбора пробы / Sampling point	Ландшафтные условия / Landscape conditions	Функциональные зоны / Functional areas
1. с. Лебяжье	Слабоволнистые плоскозападинные поверхности с травяным сосновым бором на слабогумусированных дерновых песчаных почвах	Зоны производственных и коммунально-складских объектов; зоны сельскохозяйственного использования
2. Рабочий посёлок Южный (РП Южный)	Слабоволнистые плоскозападинные поверхности с травяным сосновым бором на слабогумусированных дерновых песчаных почвах	Жилые зоны; общественно-деловые зоны; производственные зоны
3. НИИ им. Лисавенко	Терраса ложбины древнего стока вблизи бровки обрывистого оползневого склона к долине р. Обь. Присутствуют элементы агроландшафта	Зоны рекреационного назначения; зоны сельскохозяйственного использования
4. мкрн. «Затон»	Пойма реки Обь с лугами и кустарниковыми зарослями	Жилые зоны; общественно-деловые зоны
5. Факультет ветеринарной медицины Алтайского государственного аграрного университета (ФВМ АГАУ)	Склон увала с луговыми степями и остепненными лугами на черноземах выщелоченных, осложненный лесными и кустарниковыми западинами на серых лесных почвах	Зоны учебных центров; жилые зоны; производственные зоны
6. мкрн. «Солнечная поляна»	Склон увала с луговыми степями и остепненными лугами на выщелоченных черноземах, осложненный западинами кустарниковыми и мелколиственнолесными на серых лесных почвах	Жилые зоны; общественно-деловые зоны
7. Центр г. Барнаула, ул. Гоголя	Овражные-балочные системы с луговыми и мелколиственно-лесными сообществами на оподзоленных черноземах	Общественно-жилые зоны; общественно-деловые зоны; производственные зоны; рекреационные зоны

обстановки, в которых расположен округ – Приобское плато, Барнаульская ложбина древнего стока и долина р. Обь (рис. 1, табл. 1).

Для отбора проб МП из осадков в период 15.05.2024 по 15.06.2024 были установлены металлические цилиндры с дном на высоте 1,5-3 м. После отбора цилиндры были собраны и законсервированы фольгой для исключения загрязнения. Затем цилиндры наполняли дистиллированной водой и пропускали её через стекловолоконные фильтры при помощи прибора вакуумного фильтрования.

Перед анализом на световом микроскопе фильтры с пробами подготавливают путём удаления органики. В нашем исследовании за основу взята методика Al-Azzawi [7]. Фильтры с пробами атмосферного осаждения в чашках Петри заливались перекисью водорода

(H₂O₂ 37 %) в количестве 5 мл и в закрытом виде устанавливались в термостат при температуре 62 °С на 48 часов.

Анализ проводился на световом микроскопе Zeiss AXIO LAB.A1 с флюоресценцией. Для повышения качества идентификации МП использовался сольватохромный краситель Нильский красный (Nile Red), что позволило идентифицировать МП даже небольшого размера, которые могли быть пропущены при обычном визуальном осмотре [7].

Полученные изображения сравнивались с изображениями с заранее известным измельченным и окрашенным МП (рис. 2). Данная методика также применялась другими исследователями [5]. Для анализа циркуляционных условий в период отбора проб проведен анализ розы ветров по данным Архива погоды [1].

Вид пластика	Не окрашенный образец	Окрашенный образец	Окрашенный образец + флюоресценция
PVC			
PP			
PET			
LDPE			
HDPE			
PS			
OTHER			

Рис. 2. Заранее известный МП, окрашенный «Нильским красным»
[Fig. 2. The previously known MP, painted with «Nile red»]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Максимальное суточное выпадение МП в исследуемых локациях Барнаула зафиксировано в микрорайоне (мкрн.) Солнечная поляна (225,8 шт/м²/день) и на территории Научно-исследовательского института (НИИ) им. Лисавенко (209,8 шт/м²/день). На рисунке 3 визуализирована степень осаждения МП в точках; в таблице 2, наряду с абсолютным и суточным осаждением, приведено процентное соотношение обнаруженных полимеров в точках отбора.

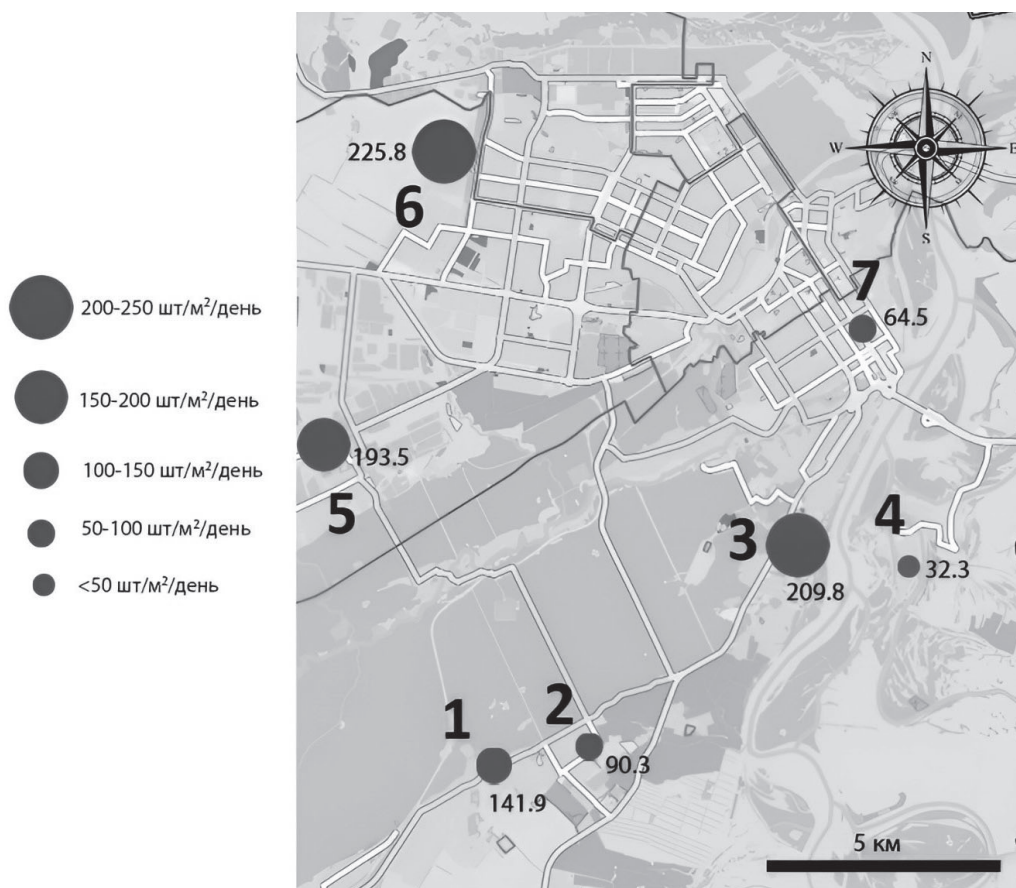
Абсолютные значения атмосферного осаждения МП за период исследования варьировали от 1000 (мкрн. «Затон») до 7000 (мкрн. «Солнечная поляна») шт/м².

Среди факторов высвобождения МП выделяют фотоокисление пластика совместно с механическим воз-

действием [17], создающие оптимальные условия для высвобождения частиц в исследуемых локациях.

Преобладающими направлениями ветра в период отбора проб были юго-западное и западное (рис. 4), что частично объясняет повышенное осаждение МП в мкрн. «Солнечная поляна», расположенном на западной окраине города. Частицы МП, переносимые западными ветрами, могли накапливаться на в этой зоне благодаря орографическим особенностям и отсутствию препятствий для ветрового потока.

На территории ФВМ АГАУ наблюдается аналогичная ситуация, как и в случае с «мкрн. Солнечная Поляна». Точка находится на западной окраине с подветренной стороны, где отсутствует плотная застройка. Различия в осаждении могут быть обусловлены рас-



Условные обозначения: 1. с. Лебяжье; 2. РП «Южный»; 3. НИИ им. Лисавенко; 4. мкрн. «Затон»; 5. ФВМ АГАУ; 6. мкрн. «Солнечная поляна»; 7. ул. Гоголя

Рис. 3. Атмосферное осаждение МП в исследуемых локациях
[Fig. 3. Atmospheric deposition of MP in the studied locations]

Таблица 2

Распределение МП по локациям
[Table 2. MP distribution by locations]

Локация / Location	шт/м ² за период / pcs/m ² per period	Частиц/м ² /день / Particles/m ² /day	Доля обнаруженных полимеров, % / Percentage of polymers detected, %						
			PVC	PP	PET	LDPE	HDPE	PS	ОТН
1. с. Лебяжье	4400	141,9	9	28	–	36	18	–	9
2. РП Южный	2800	90,3	29	57	–	14	–	–	–
3. НИИ им. Лисавенко	6502	209,8	13	37	–	25	25	–	–
4. мкрн. «Затон»	1000	32,3	10	40	10	10	30	–	–
5. ФВМ АГАУ	6000	193,5	46	20	7	7	13	–	7
6. мкрн. «Солнечная поляна»	7000	225,8	29	–	36	7	–	28	–
7. Центр г. Барнаула, ул. Гоголя	2000	64,5	10	20	–	60	10	–	–

положением точек относительно промзоны и ТЭЦ-3 («мкрн. Солнечная Поляна» расположена на пути «факела выброса», ФВМ АГАУ – до «факела»).

Высокие концентрации МП в районе НИИ им. Лисавенко, предположительно, могут быть обусловлены близостью точки отбора к Змеиногорскому тракту с активным движением автотранспорта [4], способствующим

завихрениям воздуха и подъемом в воздух частиц МП. Источником попадания в атмосферу частиц PVC и PP наиболее вероятно является автотранспорт, многие пластмассовые детали которого имеют в своем составе данные полимеры. В исследовании O'Brien отмечается, что МП в виде фрагментов подвержен более дальнему переносу, в то время как гранулы и сферы оседают бли-

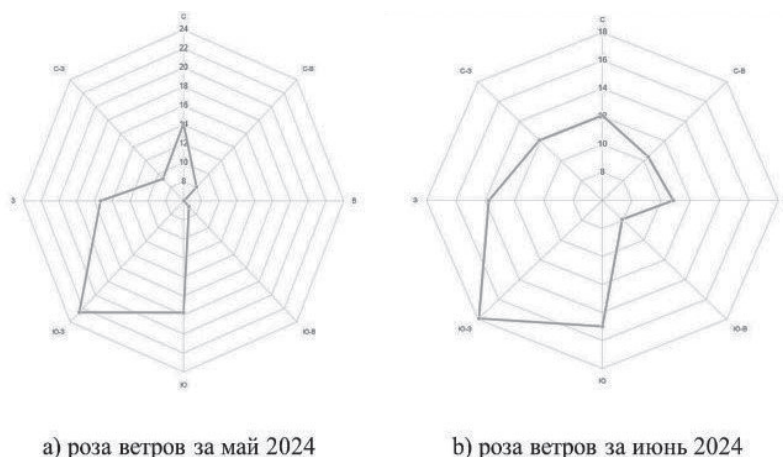


Рис. 4. Розы ветров в Барнаульском городском округе за период отбора проб [1]
[Fig. 4. Wind roses in Barnaul city district during the sampling period]

же к источникам из-за обтекаемой формы [17]. В связи с доминированием фрагментного морфотипа в данной точке, можно предположить, что именно данная форма частиц повлияла на их перенос в исследуемую локацию от источника – близлежащей жилой застройки и автодороги.

В с. Лебяжье на осаждение МП также могла повлиять антропогенная деятельность в приусадебном хозяйстве, в виде использования сельхозтехники, садового инвентаря и укрывающих материалов в виде плёнок. Важным фактором также выступает расположение вдоль главной дороги с интенсивным движением автомобилей.

В то же время, в РП «Южный» суточное осаждение почти в 1,5 раза меньше, чем в с. Лебяжье. Причиной могла послужить многоэтажная жилая застройка, препятствующая переносу МП. Аналогично, улица Гоголя с более плотной застройкой демонстрирует более низкое суточное осаждение. Самый низкий показатель в мкрн. «Затон». Предположительно, данное значение обусловлено наличием растительного барьера и отсутствием в этой части города интенсивной антропогенной деятельности.

Суточное выпадение варьировало от 32,3 до 225,8 шт/м²/день, что сопоставимо с данными по осаждению МП на урбанизированных территориях различных государств (табл. 3).

Таблица 3

Суточное осаждение МП в некоторых городах мира
[Table 3. Daily precipitation of MP in some cities of the world]

Город, государство / City, state	Суточное осаждение (шт/м ² /день) / Daily precipitation (pcs/m ² /day)	Источник / Source
Сьенфуэгос, Куба	32,1-172,8	Pescoso Torres B.M et al., 2023
Лондон, Великобритания	575-1008	Wright et al., 2020
Милан, Италия	43-119	Jafarova et al., 2022
Париж, Франция	2-355	Jahandari et al., 2023
Гамбург, Германия	60-111	Klein et al., 2019
Дунгуань, Китай	175-313	Cai et al., 2017

Благодаря применению Нильского красного в контексте нашего исследования удалось идентифицировать МП со специфическим свечением для каждого выбранного типа. В с. Лебяжье и на ул. Гоголя в общем потоке обнаруженных частиц преобладает LDPE (полиэтилен низкой плотности); РР (полипропилен) в наибольшем количестве встречен в РП «Южный, НИИ им. Лисавенко и мкрн. «Затон»; на территории ФВМ АГАУ доминирует PVC (поливинилхлорид); в мкрн. «Солнечная поляна» чаще всего встречался PET (полиэтилентерефталат). Примеры обнаруженных частиц представлены на рисунке 5. Также, в таблице 4 представлены данные о морфометрических характеристиках полимеров.

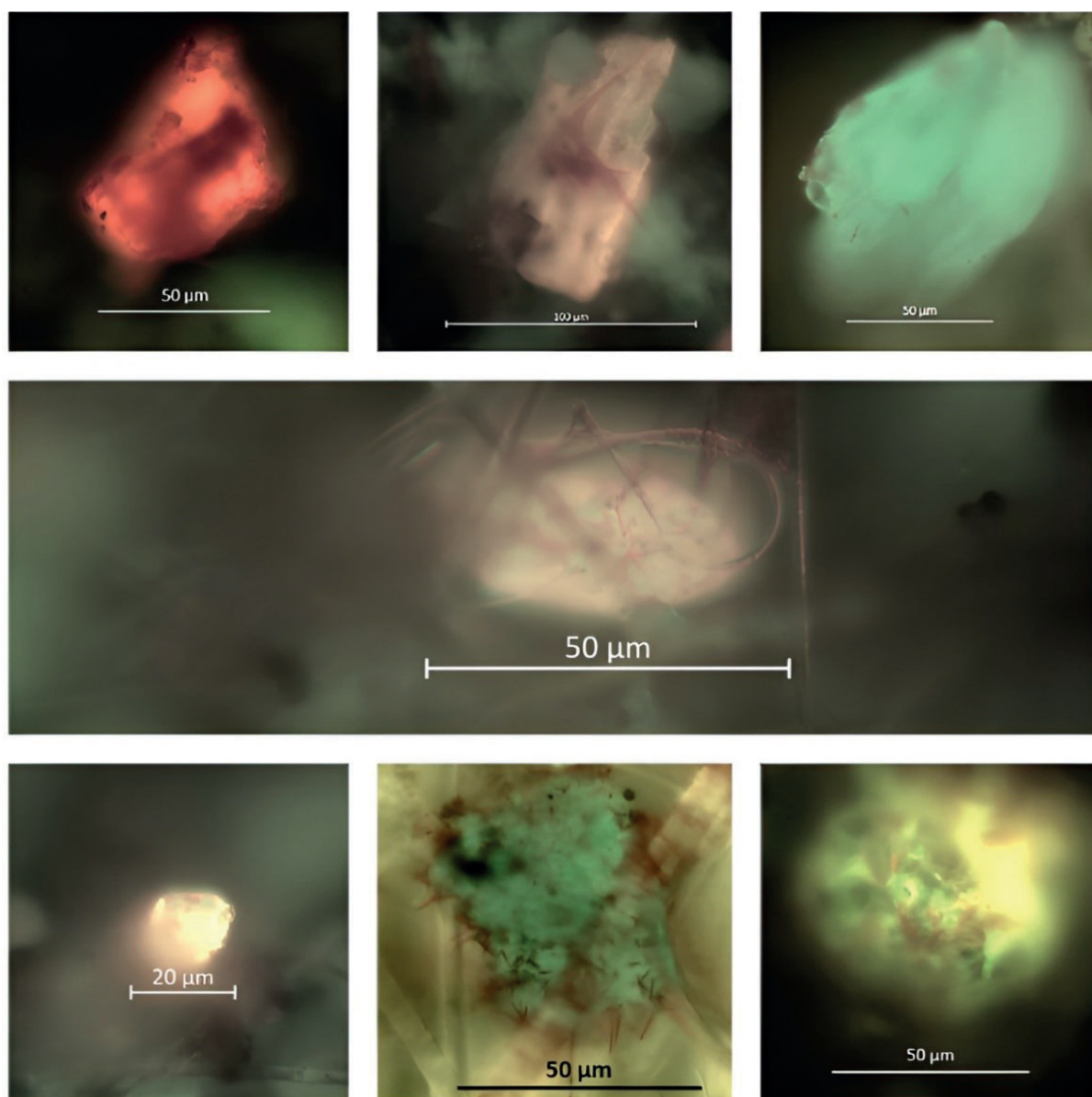
МП в форме фрагментов преобладает над МП других форм во всех пробах (табл. 5). Частицы МП в виде плёнок представлены преимущественно LDPE и HDPE (полиэтилен низкой плотности и полиэтилен высокой плотности), что указывает на их происхождение из упаковочных, строительных и бытовых материалов.

Различия в частоте встречаемости морфотипов можно объяснить особенностями их аэродинамического поведения. Сферическая и гранулообразная форма усложняет их подъем, в отличие от фрагментов, волокон или плёнок. Обтекаемая форма затрудняет подъем воздушными массами, в то же время, фрагменты и плёнки с эффектом «паруса», а также волокна с низкой

Таблица 4

Процентное соотношение морфологических характеристик полимеров в исследуемых пробах
 [Table 4. Percentage of morphological characteristics of polymers in the studied samples]

Полимер / Polymer	Доля от общего числа обнаруженных частиц, % / Percentage of the total number of detected particles, %	Средний размер (мкм) / Average size (microns)	Основная форма / The main form
PVC	24,6	38,2 ± 22,1	Фрагмент (85 %)
PP	20,4	43,1 ± 38,2	Фрагмент (78 %)
LDPE	20,4	41,5 ± 28,7	Плѐнка (60 %)
PET	12,0	54,3 ± 32,1	Фрагмент (90 %)
HDPE	12,0	48,1 ± 25,6	Плѐнка (55 %)
PS	7,0	44,5 ± 19,3	Фрагмент (100 %)
ОТН	3,6	22,4 ± 10,7	Фрагмент (80 %)



Условные обозначения: 1-ый ряд слева направо: фрагмент PVC (поливинилхлорид); фрагмент PET (полиэтилентерефталат); фрагмент LDPE (полиэтилен низкой плотности). 2-й ряд: фрагмент типа OTHER (смешанные/другие). 3-й ряд слева направо: фрагмент PS (полистирол); плѐнка HDPE (полиэтилен высокой плотности); фрагмент PP (полипропилен)

Рис. 5. Примеры обнаруженных частиц МП со специфическим свечением
 [Fig. 5. Examples of detected MP particles with specific luminescence]

Соотношение морфотипа и полимера частиц в исследуемых пробах
[Table 5. The ratio of morphotype and polymer of particles in the studied samples]

Локация / Location	Полимер / Polymer	Фрагмент / Fragment	Плѐнка / Film	Гранула / Granule	Сфера / Sphere	Волокно / Fiber
1. с. Лебяжье	PVC	9,1 %	–	–	–	–
	PP	27,3 %	–	–	–	–
	LDPE	27,2 %	–	–	–	9,1 %
	HDPE	18,2 %	–	–	–	–
	OTH	9,1 %	–	–	–	–
2. РП Южный	PVC	28,5 %	–	–	–	–
	PP	42,9 %	–	–	14,3 %	–
	LDPE	–	14,3 %	–	–	–
3. НИИ им. Лисавенко	PVC	12,5 %	–	–	–	–
	PP	37,5 %	–	–	–	–
	LDPE	25,0 %	–	–	–	–
	HDPE	25,0 %	–	–	–	–
4. мкрн. «Затон»	PVC	–	–	–	10,0 %	–
	PET	10,0 %	–	–	–	–
	PP	40,0 %	–	–	–	–
	LDPE	–	10,0 %	–	–	–
	HDPE	30,0 %	–	–	–	–
5. ФВМ АГАУ	PVC	40,0 %	–	6,7 %	–	–
	PET	6,5 %	–	–	–	–
	PP	20,0 %	–	–	–	–
	LDPE	–	6,7 %	–	–	–
	HDPE	6,7 %	6,7 %	–	–	–
	OTH	6,7 %	–	–	–	–
6. мкрн. «Солнечная Поляна»	PVC	28,6 %	–	–	–	–
	PET	35,7 %	–	–	–	–
	PS	28,6 %	–	–	–	–
	LDPE	–	7,1 %	–	–	–
7. ул. Гоголя	PVC	10,0 %	–	–	–	–
	PP	20,0 %	–	–	–	–
	LDPE	40,0 %	–	20,0 %	–	–
	HDPE	–	10,0 %	–	–	–

плотностью легче подхватываются воздушными потоками и переносятся на большие расстояния [17].

Несмотря на многочисленные литературные данные, указывающие на более эффективный перенос частиц в виде плѐнок и волокон, в исследуемых пробах преобладают частицы в форме фрагментов, что, предположительно, связано с особенностями расположения источников выброса МП и местными погодными условиями.

Некоторые исследования указывают на то, что МП в виде сфер и гранул является первичным типом [17]. В связи с этим, отсутствие таких частиц в некоторых исследуемых локациях (с. Лебяжье, НИИ им. Лисавенко и мкрн. «Солнечная поляна») может быть обусловлено, в частности, отсутствием в непосредственной близости коммерческой недвижимости, в которой оказывают услуги по ремонту автомобилей и другой техники, а также отделке и обработке изделий из металла, дерева или пластика.

Таким образом, анализ данных выявил пространственную неоднородность атмосферного осаждения МП в Барнауле, обусловленную сочетанием ветрового переноса, локальных источников загрязнения, ландшафтных условий и различных функциональных зон. Максимальные концентрации в микрорайоне «Солнечная поляна» и у НИИ им. Лисавенко демонстрируют влияние транспортных магистралей и сельскохозяйственной деятельности, что подтверждается преобладанием вторичных частиц PVC и PP в форме фрагментов. Меньшие показатели осаждения демонстрируют локации с плотной застройкой или локации, находящиеся вдали от автомагистралей и огражденные растительным барьером, препятствующим переносу частиц МП. Сравнение с глобальными данными отражает умеренный уровень загрязнения, характерный для городов с аналогичной антропогенной нагрузкой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования выявлено, что суточное осаждение МП в Барнаульском городском округе в период 15.05.2024-15.06.2024 варьируется от 32,3 до 225,8 шт/м²/день, что сопоставимо с данными по другим урбанизированным территориям [8,15]. Максимальные значения зафиксированы в микрорайоне «Солнечная поляна» и на территории НИИ им. Лисавенко, что связано с антропогенной нагрузкой и особенностями ветрового переноса.

Основными полимерами являются PVC, PP и LDPE, что коррелирует с их использованием в транспортной инфраструктуре и упаковочных материалах. Преобладающая форма частиц – фрагменты (78,9 %), что подтверждает гипотезу о вторичном происхождении МП вследствие деградации макропластика.

Наблюдается относительно низкое содержание сферических частиц и гранул (1,4 % и 4,9 % соответственно), что объясняется их низкой способностью к атмосферному переносу из-за обтекаемой формы. Это согласуется с данными о роли аэродинамики в распределении МП [17].

Проведённое исследование впервые демонстрирует масштабы атмосферного осаждения МП в Барнауле, подчеркивая его связь с урбанизацией и антропогенной деятельностью. Полученные данные имеют практическую значимость для разработки мер по снижению пластикового загрязнения, включая оптимизацию систем сбора отходов и регулирование использования материалов, содержащих в себе синтетические полимеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архив погоды*. 2024. – URL: <https://arhivpogodi.ru/arhiv> (дата обращения: 15.06.2025). – Текст: электронный.
2. *Генеральный план городского округа – города Барнаула Алтайского края, утверждённый решением Барнаульской городской Думы от 30.08.2019 №344 (в редакции решения от 25.12.2024 №436) (ДЕЙСТВУЮЩИЙ). Приложение 10. Карта функциональных зон городского округа*. – URL: <https://ksar.barnaul-adm.ru/generalnyu-plan-ot-25122024-no436> (дата обращения: 07.06.2025). – Текст: электронный.
3. *Росстат. Население Барнаульского городского округа*. – URL: <https://22.rosstat.gov.ru/folder/219321#> (дата обращения: 29.05.2025). – Текст: электронный.
4. Белозерцева И. А., Воробьева И. Б., Власова Н. В. Загрязнение снега и почв северо-западного побережья озера Байкал // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 1, с. 76-92.
5. Особенности применения красителя нильский красный для идентификации частиц пластика в природных объектах / Е. В. Иванова, А. В. Гузева, А. Е. Лапенков, Ш. Р. Поздняков, Л. Л. Капустина, Г. Г. Митрукова, Д. А. Тихонова // *Российский журнал прикладной экологии*, 2020, № 4 (24), с. 36-42.
6. Швецов А. Я., Горлов Е. А. *Природные условия Барнаула*. Барнаул: Издательство «Новый формат» (ИП Колмогоров И. А.), 2020. 178 с.

7. Validation of sample preparation methods for microplastic analysis in wastewater matrices – reproducibility and standardization / Al-Azzawi M. S., Kefer S., Weisser J., Reichel J., Schwaller C., Glas K., et al. // *Water*, 2020, vol. 12, no. 9, pp. 2445.

8. Ashkan J. Microplastics in the urban atmosphere: Sources, occurrences, distribution, and potential health implications // *Journal of Hazardous Materials Advances*, 2023, vol. 12, art. 100346.

9. Characteristic of microplastics in the atmospheric fallout from Dongguan city, China: preliminary research and first evidence / Cai L., Wang J., Peng J., Tan Z., Zhan Z., Tan X., Chen Q. // *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, vol. 24, no. 32, pp. 24928-24935.

10. Microplastics in the snow cover of urban landscapes: A case study of Barnaul / D. V. Chernykh, R. Y. Biryukov, N. A. Kuryatnikova, N. S. Malygina // *Geography and Natural Resources*, 2023, vol. 43, suppl. 1, pp. S44-S49.

11. Ganguly M., Ariya P. A. Ice nucleation of model nanoparticles and microplastics: A novel synthetic protocol and the influence of particle capping at diverse atmospheric environments // *ACS Earth and Space Chemistry*, 2019, vol. 3, no. 9, pp. 1729-1739.

12. Microplastics in bulk atmospheric deposition along the coastal region of Victoria Land, Antarctica / Illuminati S., Nottarstefano V., Tinari C., et al. // *Science of the Total Environment*, 2024, vol. 949, art. 175221.

13. Lichen Biomonitoring of Airborne Microplastics in Milan (N Italy) / Jafarova M., Contardo T., Aherne J., Loppi S. // *Biology*, 2022, vol. 11, no. 12, art. 1815.

14. Jahandari A. Microplastics in the urban atmosphere: Sources, occurrences, distribution, and potential health implications // *Journal of Hazardous Materials Advances*, 2023, vol. 12, art. 100346.

15. Atmospheric deposition of microplastics in the megapolis (Shanghai) during rainy season: Characteristics, influence factors, and source / Jia Q., Duan Y., Han X., Munyaneza J., Ma J., Xiu G. // *Science of the Total Environment*, 2022, vol. 847, art. 157609.

16. Klein M., Fischer E. K. Microplastic abundance in atmospheric deposition within the Metropolitan area of Hamburg, Germany // *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 685, pp. 96-103.

17. There's something in the air: A review of sources, prevalence and behaviour of microplastics in the atmosphere / O'Brien S., Rauer C., Ribeiro F., Okoffo E. D., Burrows S. D., O'Brien J. W., Wang X., Wright S. L., Thomas K. V. // *Science of the Total Environment*, 2023, vol. 874, art. 162193.

18. Microplastics in atmospheric deposition in Cienfuegos, Cuba / Pescoso Torres B. M., García-Varens M., Helguera Y., Morera Gómez Y. Y. // *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, vol. 30, no. 15, P. 407-414.

19. Atmospheric microplastic deposition in an urban environment and an evaluation of transport / Wright S. L., Ulke J., Font A., Chan K. L. A., Kelly F. J. // *Environment International*, 2020, vol. 136, art. 105411.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 09.09.2025

Принята к публикации: 27.02.2026

Atmospheric Deposition of Microplastics in Barnaul City

D.A. Filippenko , N.S. Malygina, D.V. Chernykh

*Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Russian Federation
(1, Molodezhnaya Str., Barnaul, 656038)*

Abstract. The purpose is to evaluate the atmospheric deposition of microplastics (MP) in Barnaul city district and the factors of its spatial distribution.

Materials and methods. Passive sampling of atmospheric precipitation for the period 05.15.2024-06.15.2024 at 7 points. Identification of MP by fluorescence microscopy (Nile red staining) after H₂O₂ treatment. Analysis of wind conditions and landscape conditions.

Results and discussion. Daily precipitation ranged from 32,3 to 225,8 particles/m²/day, the maximum was recorded in the residential area of Solnechnaya Polyana (225,8) and near the Zmeinogorsky tract (Lisavenko Research Institute, 209,8). Fragments (78,9 %) of PVC (24,6 %), PP (24,6 %), and LDPE (20,4 %) polymers dominate, associated with vehicle and packaging wear. The distribution is determined by westerly winds, building density and anthropogenic load.

Conclusions. The level of MP deposition in Barnaul city district is comparable to other urbanized areas. The key influencing factors are local sources (transport), wind transport and particle morphology. The results confirm the secondary origin of MP and the need to regulate the use of plastics.

Key words: atmospheric deposition of microplastics, Barnaul, wind transport, anthropogenic load, Nile red, fluorescence microscopy.

Funding: The study was carried out within the framework of the state assignment of the Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the RAS, (No. FUFZ-2026-0003).

For citation: Filippenko D.A., Malygina N.S., Chernykh D.V. Atmospheric Deposition of Microplastics in Barnaul City. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografiya. Geoekologiya*, 2026, no. 1, pp. 142-151 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2026/1/142-151>

REFERENCES

1. *Weather archive*. 2024. – URL: <https://arhivpogodi.ru/arhiv> (accessed 15.06.2025). – Text: electronic. (In Russ.)
2. *The General Plan of the city district of Barnaul, Altai Territory, approved by the Barnaul City Duma decision No. 344 dated 08/30/2019 (as amended by decision No. 436 dated 12/25/2024) (CURRENT). Appendix 10. Map of the functional zones of the city district*. – URL: <https://ksar.barnaul-adm.ru/generalnyy-plan-ot-25122024-no436> (accessed 07.06.2025). – Text: electronic. (In Russ.)
3. *Rosstat. The population of Barnaul city district*. – URL: <https://22.rosstat.gov.ru/folder/219321#> (accessed 29.05.2025). – Text: electronic. (In Russ.)
4. Belozerceva I.A., Vorob'eva I.B., Vlasova N.V. Zagryaznenie snega i pochv severo-zapadnogo poberezh'ya ozera Bajkal [Snow and soil pollution on the northwest coast of Lake Baikal]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2023, no. 1, pp. 76-92. (In Russ.)
5. Osobennosti primeneniya krasitelja nil'skij krasnyj dlja identifikacii chastic plastika v prirodnyh ob'ektah [Features of using the Nile red dye to identify plastic particles in natural objects] / E.V. Ivanova, A.V. Guzeva, A.E. Lapenkov, Sh.R. Pozdnjakov, L.L. Kapustina, G.G. Mitrukova, D.A. Tihonova. *Rossijskij zhurnal prikladnoj jekologii*, 2020, no. 4 (24), pp. 36–42 (In Russ.)
6. Shvecov A. Ja., Gorlov E.A. *Prirodnye uslovija Barnaula* [Natural conditions of Barnaul]. Barnaul: Izdatel'stvo «Novyj format» (IP Kolmogorov I.A.), 2020. 178 p. (In Russ.)
7. Validation of sample preparation methods for microplastic analysis in wastewater matrices – reproducibility and standardization / Al-Azzawi M.S., Kefer S., Weisser J., Reichel J., Schwaller C., Glas K., et al. *Water*, 2020, vol. 12, no. 9, pp. 2445.
8. Ashkan J. Microplastics in the urban atmosphere: Sources, occurrences, distribution, and potential health implications. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 2023, vol. 12, art. 100346.
9. Characteristic of microplastics in the atmospheric fallout from Dongguan city, China: preliminary research and first evidence / Cai L., Wang J., Peng J., Tan Z., Zhan Z., Tan X., Chen Q. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, vol. 24, no. 32, pp. 24928-24935.
10. Microplastics in the snow cover of urban landscapes: A case study of Barnaul / D.V. Chernykh, R.Y. Biryukov, N.A. Kuryatnikova, N.S. Malygina. *Geography and Natural Resources*, 2023, vol. 43, suppl. 1, pp. S44-S49.
11. Ganguly M., Ariya P.A. Ice nucleation of model nanoplastics and microplastics: A novel synthetic protocol and the influence of particle capping at diverse atmospheric environments. *ACS Earth and Space Chemistry*, 2019, vol. 3, no. 9, pp. 1729-1739.
12. Microplastics in bulk atmospheric deposition along the coastal region of Victoria Land, Antarctica / Illuminati S., Nottarstefano V., Tinari C., et al. *Science of the Total Environment*, 2024, vol. 949, art. 175221.
13. Lichen Biomonitoring of Airborne Microplastics in Milan (N Italy) / Jafarova M., Contardo T., Aherne J., Loppi S. *Biology*, 2022, vol. 11, no. 12, art. 1815.



14. Jahandari A. Microplastics in the urban atmosphere: Sources, occurrences, distribution, and potential health implications. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 2023, vol. 12, art. 100346.
15. Atmospheric deposition of microplastics in the megapolis (Shanghai) during rainy season: Characteristics, influence factors, and source / Jia Q., Duan Y., Han X., Munyaneza J., Ma J., Xiu G. *Science of the Total Environment*, 2022, vol. 847, art. 157609.
16. Klein M., Fischer E.K. Microplastic abundance in atmospheric deposition within the Metropolitan area of Hamburg, Germany. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 685, pp. 96-103.
17. There's something in the air: A review of sources, prevalence and behaviour of microplastics in the atmosphere / O'Brien S., Rauert C., Ribeiro F., Okoffo E.D., Burrows S.D., O'Brien J.W., Wang X., Wright S.L., Thomas K.V. *Science of the Total Environment*, 2023, vol. 874, art. 162193.
18. Microplastics in atmospheric deposition in Cienfuegos, Cuba / Pescoso Torres B.M., García-Varens M., Helguera Y., Morera Gómez Y.Y. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, vol. 30, no. 15, P. 407-414.
19. Atmospheric microplastic deposition in an urban environment and an evaluation of transport / Wright S.L., Ulke J., Font A., Chan K.L.A., Kelly F.J. *Environment International*, 2020, vol. 136, art. 105411.
- Conflict of interests:** The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.
- Received: 09.09.2025*
Accepted: 27.02.2026

Филиппенко Данил Алексеевич

Аспирант Института водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, г. Барнаул, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-3483-4161, e-mail: bio-grave@yandex.ru

Мальгина Наталья Сергеевна

Кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник Института водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, г. Барнаул, Российская федерация, ORCID: 0000-0001-6358-7273, e-mail: natmgn@gmail.com

Черных Дмитрий Владимирович

Доктор географических наук, главный научный сотрудник Института водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, г. Барнаул, Российская федерация, ORCID: 0000-0003-0151-2596, e-mail: chernykhd@mail.ru

Danil A. Filippenko

Postgraduate Student at the Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the RAS, Barnaul, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-3483-4161, e-mail: bio-grave@yandex.ru

Natalia S. Malygina

Cand. Sci. (Geogr.), Leading Researcher at the Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the RAS, Barnaul, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-6358-7273, e-mail: natmgn@gmail.com

Dmitriy V. Chernykh

Dr. Sci. (Geogr.), Senior Researcher at the Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the RAS, Barnaul, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-0151-2596, e-mail: chernykhd@mail.ru