

УДК 504.054(571.1)

МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ БАРНАУЛЬСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ (ПО ДАННЫМ ЗА 2025 И 2026 ГГ.)

Д.А. Филиппенко

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

E-mail: filippenko.danil99@yandex.ru

В статье представлены результаты двухлетнего мониторинга загрязнения снежного покрова Барнаульской агломерации частицами микропластика (МП). Отбор проб проведён в 49 точках, охватывающих основные функциональные зоны и ландшафтные обстановки города. Концентрацию МП определяли методом флуоресцентной микроскопии с окрашиванием Нильским красным. Установлено повсеместное загрязнение снега: средние концентрации составили 137.6 ± 77.5 шт./л талого снега (2025 г.) и 57.4 ± 25.9 шт./л талого снега (2026 г.). Выявлена резкая межгодовая изменчивость (снижение более чем вдвое), не объясняемая метеорологическими факторами. Статистически значимые межгодовые различия подтверждены U-критерием Манна-Уитни ($p < 0.001$). Наиболее высокие концентрации зафиксированы в производственной зоне, наиболее низкие – в зоне индивидуальной малоэтажной застройки. Ландшафтная приуроченность максимумов загрязнения меняется от года к году. Полученные результаты обосновывают необходимость регулярного мониторинга МП в снежном покрове урбанизированных территорий.

Ключевые слова: микропластик; Барнаул; снежный покров; пространственное распределение; функциональные зоны; микроскопия; Нильский красный.

DOI: 10.24412/2410-1192-2026-18104

Дата поступления: 12.01.2026. Принята к печати: 27.03.2026

За последнее десятилетие загрязнение МП – частицами пластика < 5 мм – признано глобальной экологической проблемой [O'Brien et al., 2023]. Основным источником эмиссии – урбанизированные территории [Xu et al., 2025], а обнаружение МП в Арктике, Антарктиде и удалённых районах океана подтверждает значимость атмосферного переноса [Hamilton et al., 2024; Tatsii et al., 2024].

Снежный покров, благодаря своей структуре и способности к консервации, считается эффективным аккумулятором

частиц МП на протяжении всего зимнего периода. Исследования последних лет доказывают, что загрязнение частицами синтетических полимеров приобрело глобальный масштаб. Например, в Антарктиде концентрации МП достигают 73–3099 шт./л талого снега [Jones-Williams et al., 2025], в снеге Аляски – от 5.1 до 913 шт./л талого снега [Karapetrova et al., 2024]. Недавнее исследование, охватившее обширную территорию от Алтайских гор до Арктики, также подтвердило повсеместное загрязнение снежного покрова

Западной Сибири микрочастицами синтетических полимеров [Frank et al., 2025]

Главными источниками МП в городской среде являются свалки ТБО, системы ливневой канализации, строительные площадки, а также промышленные предприятия, использующие для своего производства первичный МП в виде гранул [O'Brien et al., 2023; Mutshekwa et al., 2025]. Помимо обычного пути со сточными водами, МП также может выбрасываться в атмосферу, потенциально подвергаясь дальнему переносу и последующему выпадению в виде влажного или сухого осаждения [O'Brien et al., 2023].

Показатели загрязнения снега частицами МП подвержены существенным пространственным и временным флуктуациям в зависимости от внутренней организации города, характеристик его различных функциональных зон и особенностей зимних погодных условий [Chernykh et al., 2023; Yu et al., 2025].

До настоящего времени число работ, анализирующих пространственное перераспределение МП в снеге урбанизированных территорий, остаётся ограниченным, при этом крайне немногочисленны исследования, касаемые российской территории, особенно отражающие межгодовые тенденции загрязнения снежного покрова частицами МП.

Целью настоящего исследования являлось выявление межгодовой динамики и пространственно-временных закономерностей накопления МП в снежном покрове Барнаульской агломерации на основе анализа двух временных срезов (2025 и 2026 гг.).

Задачи исследования:

1. Определить концентрации частиц

МП в снежном покрове различных функциональных зон г. Барнаула в марте 2025 и 2026 гг.

2. Провести сравнительный анализ данных о загрязнении снежного покрова частицами МП, полученных в 2025 г. и 2026 г.

3. Выявить функциональные зоны с устойчиво высокими концентрациями МП, а также зоны, демонстрирующие значимую межгодовую изменчивость.

4. Оценить статистическую значимость межгодовых различий содержания МП в снежном покрове.

Материалы и методы

Город Барнаул является административным центром Алтайского края. Он располагается на юге Западной Сибири, преимущественно на левом берегу р. Обь, у слияния ее с р. Барнаулкой. Агломерация включает в себя сам город, прилегающие поселки и сельские территории [Швецов, Горлов, 2020]. По данным Росстата на 2025 г. численность населения агломерации составляет около 853 881 человек [Росстат, 2026].

В рамках нашего исследования отбор проб частиц МП из снежного покрова производился в период максимального снегонакопления в начале марта в 2025 г. и 2026 г. в 49 точках, которые были определены еще в 2021 г. при первом осуществлении пробоотбора [Chernykh et al., 2023]. Точки расположены относительно равномерно в различных частях агломерации и охватывают 6 функциональных зон (сельскохозяйственные угодья и др. открытые территории, зона пригородных

лесов, внутригородская зеленая зона, зона индивидуальной малоэтажной застройки, зона средне- и многоэтажной застройки и производственная зона) и 3 ландшафтные обстановки, а именно Приобское плато, Барнаульская ложбина древнего стока и долина р. Обь. Отбор проводился в соответствии с требованиями, разработанными в Норвежском институте исследования воздуха [Ask et al., 2016].

На каждой точке предварительно удаляли поверхностный слой снега толщиной 3–5 см для исключения недавно выпавших частиц. Затем с помощью совка из нержавеющей стали отбирали снег на всю глубину снежного покрова (без захвата нижнего припочвенного слоя) в стеклянные контейнеры объёмом 3 л, после чего закрывали их алюминиевой фольгой и металлическими крышками. Объём пробы составлял приблизительно 2.5–3 л. В каждой точке отбирали одну пробу (без повторностей). Весь инвентарь предварительно промывали дистиллированной водой.

После отбора, стеклянные контейнеры транспортировались в лабораторию и оставались в тёмном месте для таяния при комнатной температуре. Жидкость фильтровали через стекловолоконные фильтры на вакуумной установке, используя оборудование без синтетических деталей.

После фильтрации фильтры, для удаления органических примесей и повышения качества анализа, помещались в тщательно вымытые дистиллированной водой чашки Петри, в каждую из которых добавляли по 5 мл перекиси водорода (H_2O_2 37%), и в закрытом виде устанавливались в термостат при температуре

62°C на 48 часов для полного высыхания фильтров. За основу были взяты стандартные методики [Al-Azzawi et al., 2020; Maw et al., 2022].

Идентификация частиц МП выполнялась методом световой микроскопии с флуоресценцией на микроскопе Zeiss AXIO LAB.A1. Для повышения надёжности детекции использовался сольватохромный краситель Нильский красный (Nile Red), избирательно связывающийся с гидрофобными полимерами. Подготовку образцов начинали с отделения верхнего слоя высушенного фильтра, из которого затем вырезали пять квадратов размером 5×5 мм. Каждый квадрат помещали на предметное стекло и наносили на него 5–10 мкл раствора Нильского красного в ацетоне в концентрации 10 мкг/мл. Квадраты инкубировали с красителем 5–10 минут при комнатной температуре для достижения полного связывания маркера с полимерными частицами, после чего накрывали покровным стеклом и проводили микроскопический анализ. Согласно современным данным, окрашивание Nile Red позволяет уверенно идентифицировать частицы МП размером от 11 мкм [Ho et al., 2024; Ruvina & Castillo, 2024; Süßmann et al., 2024]. Данный метод позволил идентифицировать микрочастицы даже малых размеров, которые могли остаться незамеченными при стандартном визуальном анализе.

Также, для идентификации частиц МП использовали сопоставление полученных изображений с заранее подготовленными измельчёнными и окрашенными образцами полимеров. Аналогичный подход, основанный на создании библиотек спек-

тральных характеристик, окрашенных Нильским красным эталоном, применялся в работах Ивановой с соавт. [2020], Meyers et al. [2022] и Но et al. [2024], где показана высокая эффективность метода.

Концентрацию частиц выражали в шт./л талого снега, пересчитывая количество МП, найденное в фактическом объёме пробы, на единицу объёма. Десятые доли являются следствием арифметического пересчёта, а не усреднения повторных измерений.

Статистическую обработку данных выполняли с помощью Microsoft Excel. Проверку нормальности распределения концентраций МП для 2025 и 2026 гг. проводили при уровне значимости $p = 0.05$ с использованием тестов Шапиро-Уилка, Колмогорова-Смирнова и χ^2 . Также рассчитывали стандартное отклонение по всей выборке и отдельно по группам точек, выделенным по ландшафтным элементам и функциональным зонам для каждого года наблюдений, и выполняли сравнение средних значений между временными срезами. Для сравнения двух независимых выборок

(2025 и 2026 гг.) использован непараметрический U-критерий Манна-Уитни, так как распределение данных в 2025 г. не соответствовало нормальному. Для оценки статистической значимости различий между тремя ландшафтными обстановками, а также между шестью функциональными зонами, применялся непараметрический тест Краскела-Уоллиса.

Результаты и обсуждение

Частицы МП были обнаружены во всех 49 пробах снега, отобранных в пределах Барнаульской городской агломерации. В пробах 2025 г. концентрации варьировали от 25.7 (мкрн. «Авиатор») до 401.9 шт./л талого снега (пересечение пр. Строителей и Павловского тракта) со средней концентрацией по всей выборке 137.6 ± 77.5 шт./л талого снега. В пробах 2026 г. концентрации варьировали от 8.4 (пос. Бельмесёво) до 140.2 шт./л талого снега (пересечение пр. Строителей и Павловского тракта) со средней концентрацией по всей выборке 57.4 ± 25.9 шт./л талого снега (рис. 1, 2).

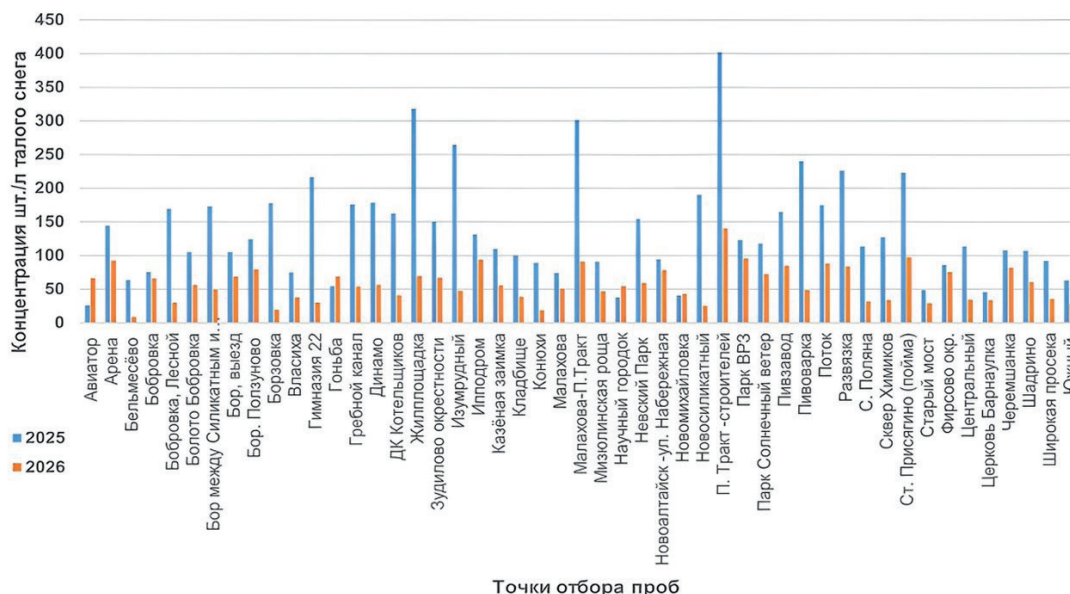


Рис. 1. Гистограммы распределения концентраций МП в снежном покрове Барнаульской агломерации в 2025 и 2026 гг.

Fig. 1. Histograms of MP concentration distribution in the snow cover of the Barnaul agglomeration in 2025 and 2026

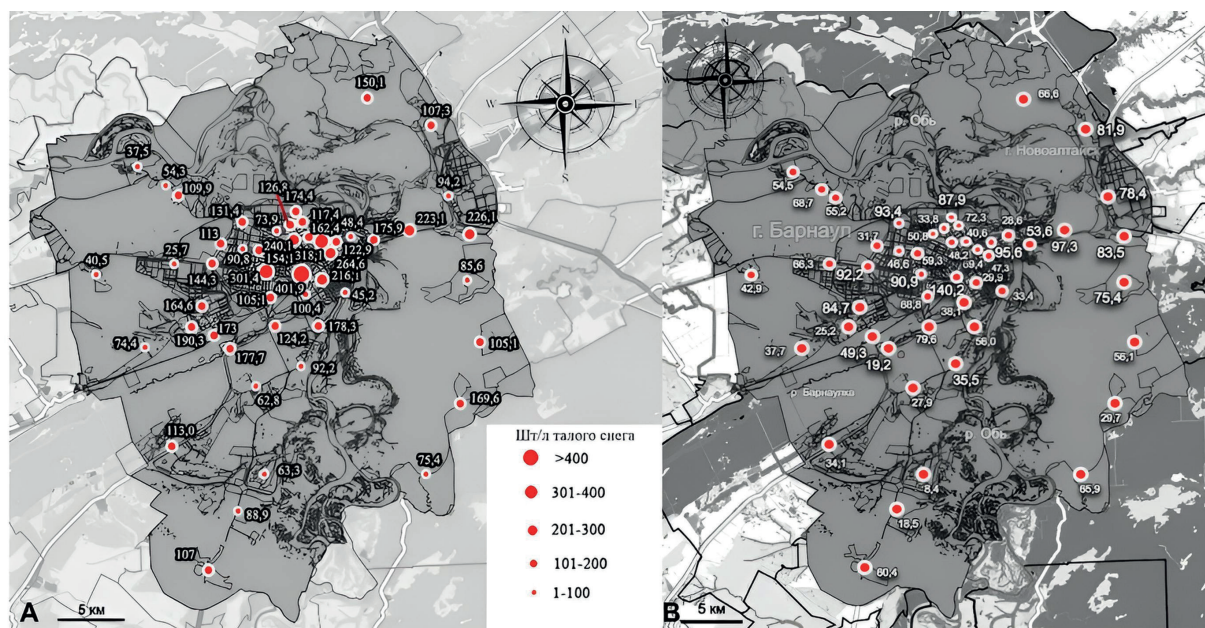


Рис. 2. Концентрации МП (шт./л талого снега) в пробах снежного покрова Барнаульской городской агломерации в 2025 (А) и 2026 (Б) гг.
Fig. 2. Concentrations of MP (pcs/l of melted snow) in snow samples from the Barnaul urban agglomeration in 2025 (A) and 2026 (B)

Для оценки статистической значимости межгодовых различий использован U-критерий Манна-Уитни (для независимых выборок). Выбор метода обусловлен ненормальным распределением данных в 2025 г. (тест Шапиро-Уилка, $p = 0.002$). Расчётное значение $U = 320$, $p < 0.001$. Полученный уровень значимости подтверждает, что снижение концентраций МП в 2026 г. по сравнению с 2025 г. статистически высоко значимо.

Точки отбора проб были сгруппированы по следующим критериям: по элементам природного ландшафта и по функциональным зонам Барнаульской городской агломерации.

Концентрации МП по элементам природных ландшафтов

При группировке точек отбора проб на основе трёх различных ландшафтных обстановок было выявлено, что в долине реки Оби в 2026 г. наблюдалась самая высо-

кая средняя концентрация частиц МП – 68.8 ± 6.0 шт./л талого снега. Приобское плато и ложбина древнего стока характеризуются чуть меньшими, но близкими друг к другу концентрациями МП – 55.1 ± 4.9 шт./л талого снега и 53.2 ± 8.5 шт./л талого снега, соответственно. При этом, в 2025 г. в ложбине древнего стока, к которой, с одной стороны приурочен центр города, а с другой – крупные массивы сосновых боров, наблюдалась самая высокая средняя концентрация частиц МП – 150.9 ± 24.9 шт./л талого снега. Приобское плато и долина реки Обь характеризовались меньшими средними концентрациями МП – 141.2 ± 17.7 шт./л талого снега и 128.7 ± 15.0 шт./л талого снега, соответственно (табл. 1; рис. 3). Таким образом, ландшафтная приуроченность максимального накопления МП не является постоянной и меняется от года к году, что свидетельствует о высокой межгодовой изменчивости факторов, влияющих на осаждение и аккумуляцию частиц.

Таблица 1

Сравнительный анализ концентраций частиц МП (шт./л талого снега)
в пробах снежного покрова Барнаульской городской агломерации
по элементам природных ландшафтов в 2025 г. и 2026 г.

Table 1

Comparative analysis of MP particle concentrations (pcs/l of melted snow) in snow cover samples of the Barnaul urban agglomeration by natural landscape elements in 2025 and 2026

Ландшафтные условия	Среднее значение		Стандартное отклонение		Стандартная ошибка	
	2025	2026	2025	2026	2025	2026
Приобское плато	128.7	55.1	74.8	24.7	15.0	4.9
Ложбина древнего стока	150.9	53.2	96.5	31.9	24.9	8.5
Долина реки Обь	141.2	68.8	55.9	19.0	17.7	6.0

Для оценки статистической значимости различий между тремя ландшафтными обстановками (Приобское плато, ложбина древнего стока, долина р. Оби) применён непараметрический тест Краскела-Уоллиса. В 2025 г. различия между группами не достигли статистической значимости ($H = 0.68$, $p = 0.713$), в 2026 г. также не выявлено значимых различий ($H = 3.67$, $p = 0.160$). Следовательно, ландшафтная приуроченность не является определяющим фактором в межгодовой динамике накопления МП в снежном покрове.

Концентрации МП по элементам городских ландшафтов (функциональным зонам)

Анализ проб снежного покрова показал, что наибольшее среднее содержание частиц МП в 2026 г. характерно для производственной зоны Барнаульской городской агломерации – 72.0 ± 26.1 . В 2025 г. наибольшая средняя концентрация также была зарегистрирована в производственной зоне – 214.3 ± 65.3 (табл. 2). На рисунке 4 представлены сравнительные диаграммы средних концентраций МП в функциональных зонах города Барнаула в 2025 и 2026 годах.

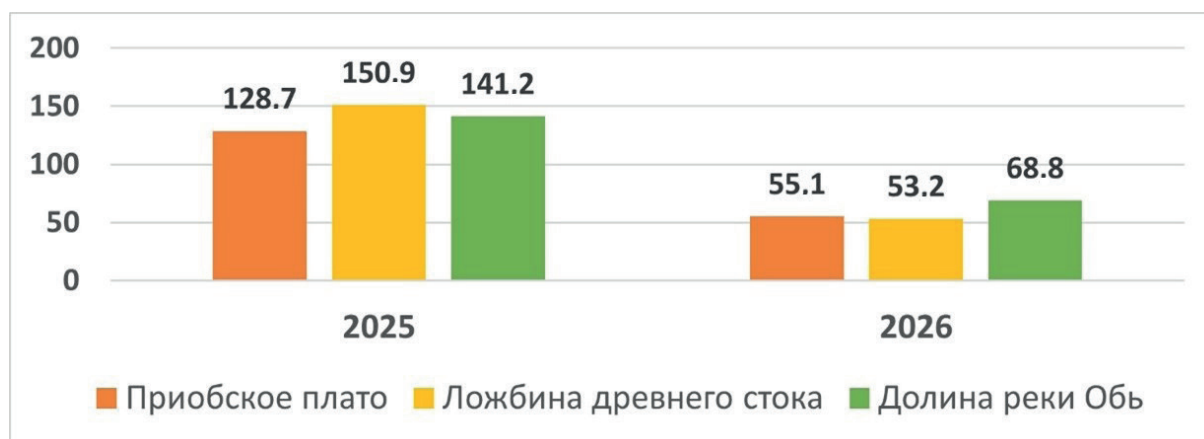


Рис. 3. Средние концентрации МП по элементам природных ландшафтов Барнаульской городской агломерации в 2025 и 2026 гг.

Fig. 3. Average MP concentrations by natural landscape elements in the Barnaul urban agglomeration in 2025 and 2026

Таблица 2

Сравнительный анализ концентраций частиц МП (шт./л талого снега)
в пробах снежного покрова Барнаульской городской агломерации
по элементам городских ландшафтов (функциональные зоны) в 2025 г. и 2026 г.

Table 2

Comparative analysis of MP particle concentrations (pcs/l of melted snow) in snow cover
samples of the Barnaul urban agglomeration by urban landscape elements
(functional zones) in 2025 and 2026

Зона	Среднее значение		Стандартное отклонение		Стандартная ошибка	
	2025	2026	2025	2026	2025	2026
Сельскохозяйственные угодья и др. открытые территории	119.3	59.6	67.3	22.8	20.3	6.9
Зона пригородных лесов	125.0	52.5	42.9	20.1	12.4	5.8
Внутригородская зеленая зона	120.9	62.0	65.0	23.2	19.6	7.0
Зона индивидуальной малоэтажной застройки	116.8	49.3	62.5	30.5	25.5	12.5
Зона средне- и многоэтажной застройки	208.6	52.8	111.2	26.3	45.5	11.8
Производственная зона	214.3	72.0	130.7	52.2	65.3	26.1

Важно отметить, что в 2026 г. во всех зонах наблюдается резкое снижение средних концентраций. Обращает на себя также внимание устойчивый минимум загрязнения в зоне индивидуальной малоэтажной застройки: за оба периода здесь фиксировались наименьшие средние концентрации МП – 116.8 и 49.3 шт./л талого снега соответственно.

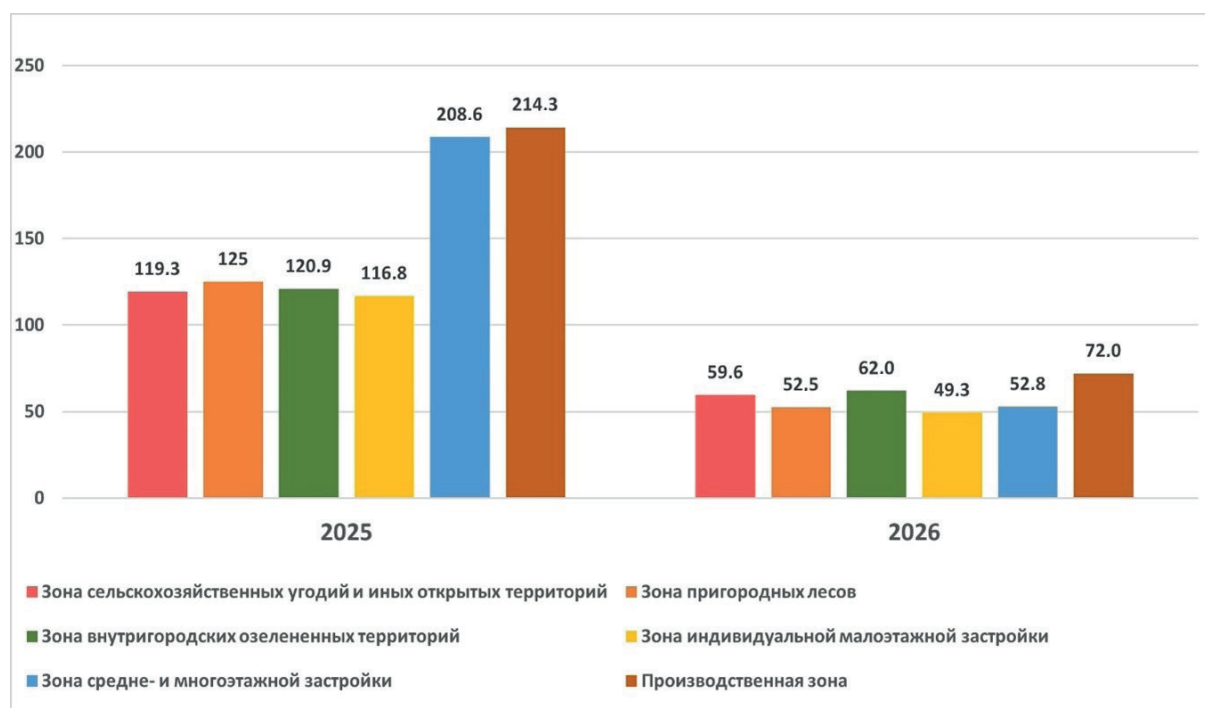


Рис. 4. Средние концентрации МП по функциональным зонам
Барнаульской городской агломерации в 2025 и 2026 гг.

Fig. 4. Average MP concentrations by functional zones of the Barnaul urban agglomeration in 2025 and 2026

Для оценки статистической значимости различий между шестью функциональными зонами использован тест Краскела-Уоллиса. В 2025 г. различия не достигли статистической значимости ($H = 5.68$, $p = 0.338$), в 2026 г. также не выявлено значимых различий ($H = 1.47$, $p = 0.917$). Несмотря на видимые различия средних концентраций (например, производственная зона и зона индивидуальной застройки), статистический анализ не подтверждает значимости этих отличий, что может быть связано с высокой внутригрупповой изменчивостью и недостаточным объёмом выборок для отдельных зон.

Производственная зона демонстрирует наиболее выраженную межгодовую изменчивость. В 2025 г. средняя концентрация МП достигала максимального за весь период наблюдений значения 214.3 ± 65.3 шт./л талого снега. В 2026 г. средняя концентрация снизилась до 72.0 ± 26.1 шт./л талого снега. Максимум за оба периода наблюдений зафиксирован на пересечении Павловского тракта и пр. Строителей – здесь в 2025 г. отмечено 401.9 шт./л, а в 2026 г. – 140.2 шт./л. Столь высокие значения, вероятно, могут быть связаны с наличием здесь крупной транспортной развязки с интенсивным движением, низким гипсометрическим положением относительно окружающих пространств, завихрениями атмосферного воздуха вследствие наличия островов тепла, способствующими локальной аккумуляции частиц МП [Klein, Fischer, 2019; Han et al., 2020]. Другие точки производственной зоны характеризуются меньшими концентрациями, причём в 2026 г. значения здесь также снизились

в 2–4 раза по сравнению с 2025 г.: Булыгино-Кировское кладбище (в 2025 г. – 100.4 шт./л талого снега, в 2026 г. – 38.1 шт./л талого снега), Барнаульский пивоваренный завод (в 2025 г. – 164.6 шт./л талого снега, в 2026 г. – 84.7 шт./л талого снега) и микрорайон Новосиликатный (в 2025 г. – 190.3 шт./л талого снега, в 2026 г. – 25.2 шт./л талого снега). Данные объекты производственной зоны характеризуются меньшей интенсивностью движения (район Булыгино-Кировского кладбища) и специализацией (Барнаульский пивоваренный завод).

Зона средне- и многоэтажной застройки в 2025 г. демонстрирует вторую по величине из всех функциональных зон среднюю концентрацию МП – 208.6 ± 45.5 шт./л талого снега. Максимальное значение 318.1 шт./л талого снега в 2025 г. зафиксировано в локации «Жилплощадка», где в непосредственной близости от жилых кварталов располагается транспортная развязка, аналогичная развязке на пересечении Павловского тракта и пр. Строителей, за которой располагается производственная зона. В 2026 г. средняя концентрация в этой зоне составила 52.8 ± 11.8 шт./л талого снега с максимальной концентрацией 90.9 шт./л талого снега в точке на пересечении ул. Малахова и Павловского тракта.

В зоне индивидуальной малоэтажной застройки средняя концентрация составила 116.8 ± 25.5 шт./л талого снега в 2025 г. Максимальная концентрация в этой зоне зафиксирована на улице Северо-Западная в районе малой р. Пивоварка – 240.1 шт./л талого снега в 2025 г. Однако в 2026 г. сред-

ная концентрация в этой зоне резко снизилась в несколько раз – 49.3 ± 12.5 шт./л талого снега, с максимальной концентрацией 81.9 шт./л талого снега в пойме малой р. Большая Черемшанка, находящейся в г. Новоалтайске. Минимальная же концентрация в 2026 г. была зафиксирована в точке вдали от змеиногорского тракта, расположенной в пос. Бельмесёво – 8.4 шт./л талого снега.

Зона сельскохозяйственных угодий и других открытых территорий, находящаяся на периферии агломерации, за два отбора характеризуется средними концентрациями МП – 119.3 ± 20.3 (2025) и 59.6 ± 6.9 (2026 г.) шт./л талого снега. Опираясь на данные результаты, можно сделать вывод, что такая ситуация обусловлена доминирующей ролью локальных источников высвобождения частиц МП, по сравнению с их глобальным атмосферным переносом на другие территории, на что уже обращали внимание другие исследователи [Blomqvist et al., 2023].

Зоны пригородных лесов и зоны внутригородских озелененных территорий. В 2025 г. концентрации МП в данных зонах имели близкие значения: зона пригородных лесов – 125.0 ± 12.4 , а внутригородская зелёная зона – 120.9 ± 19.6 шт./л талого снега. При этом, парк «Изумрудный», расположенный в центре Барнаула и испытывающий интенсивную рекреационную нагрузку, показал в 2025 г. максимальное значение – 264.6 шт./л талого снега. Удалённые от центра парки и скверы в 2025 г. характеризуются более низкими концентрациями: Мизюлинская роща (90.8 шт./л талого снега), Парк «Солнечный ветер» (117.4 шт./л талого снега), Сквер Химиков

(126.8 шт./л талого снега), Невский парк (154.1 шт./л талого снега).

В 2026 г. зона пригородных лесов характеризуется средней концентрацией 52.5 ± 6.9 шт./л талого снега. Максимум наблюдается в точке ленточного бора в окрестностях ж. ст. «Ползуново» – 79.6 шт./л талого снега, минимум же зафиксирован в пос. Борзовая Заимка – 19.2 шт./л талого снега. Зона внутригородских озелененных территорий не сильно отличается по среднему значению от зоны пригородных лесов – 62.0 ± 7.0 , но также является одной из зон, где наблюдается одна из максимальных средних концентраций. Максимум наблюдался в точке парка ВРЗ, находящийся близ самого вагоноремонтного завода, автомагистралей и коммунального моста – 95.6 шт./л талого снега. Минимум 28.6 шт./л талого снега – в древесных зарослях недалеко от ул. Парфёнова по направлению к коммунальному мосту.

Анализ зависимости концентраций МП от метеоусловий по годам

Для оценки влияния погодных факторов на аккумуляцию МП в снежном покрове были проанализированы метеоданные за периоды накопления снежного покрова (декабрь-февраль) 2024/25 и 2025/26 гг. по следующим параметрам: сумма осадков (мм), средняя температура воздуха (°C), средняя скорость ветра (м/с) и средняя относительная влажность (%) [Архив погоды, 2026]. В связи с недостаточным количеством временных срезов ($n = 2$) корреляционный анализ не проводился; визуальное сопоставление (рис. 5) не выявило однонаправленных изменений ни по одному из метеопараметров.

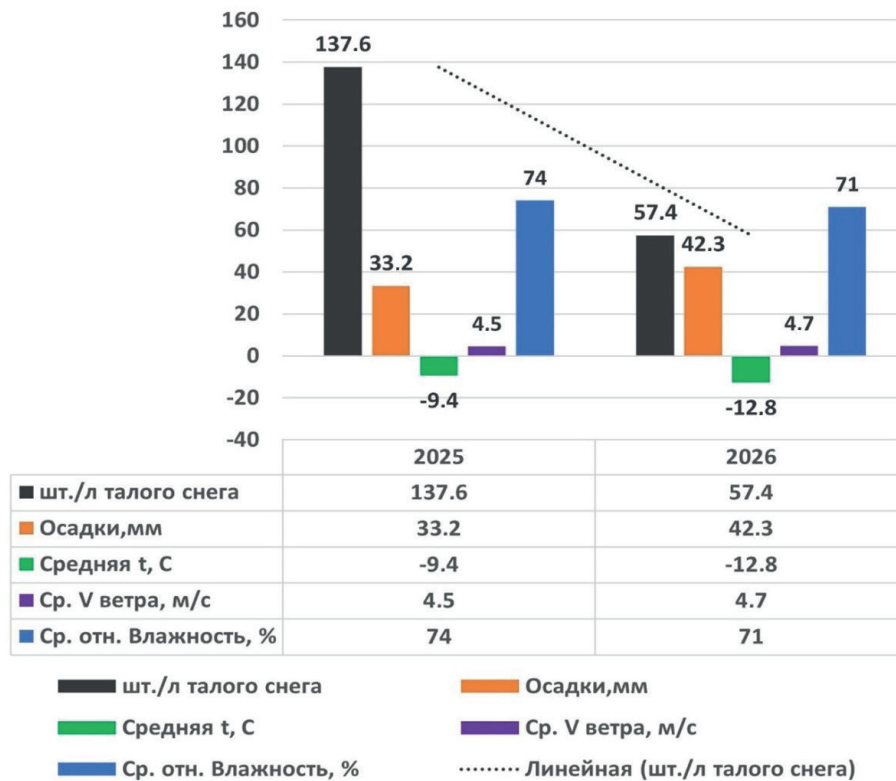


Рис. 5. Сравнение средних концентраций МП по годам с метеорологическими показателями
 Fig. 5. Comparison of average MP concentrations by year with meteorological indicators

Отсутствие явной зависимости объясняется двумя причинами: малым числом временных срезов ($n = 2$), недостаточным для надёжного статистического вывода и доминирующей ролью локальных источников МП, перекрывающей метеорологический фактор. Для более детального анализа необходимы данные о погодных аномалиях в период непосредственно перед отбором проб, а также учёт розы ветров и интенсивности оттепелей.

Заключение

По итогам двух временных срезов (2025 и 2026 гг.) установлено повсеместное загрязнение снежного покрова Барнаульской агломерации частицами МП. Средние концентрации МП по совокупности проб составили 137.6 ± 77.5 и 57.4 ± 25.9 шт./л талого снега соответственно. Выявлена выраженная ме-

жговая изменчивость в виде резкого снижения в 2026 г., причём метеорологические факторы не объясняют этой динамики.

Пространственное распределение МП в снеге отличается нестабильностью. Тем не менее, идентифицированы зоны с устойчиво высоким (производственная зона) и устойчиво низким (индивидуальная малоэтажная застройка) уровнями загрязнения.

Ландшафтная приуроченность максимумов меняется по годам, что указывает на сложный комплекс факторов, влияющих на осаждение и аккумуляцию частиц.

Полученные результаты обосновывают необходимость регулярного мониторинга МП в снежном покрове. Барнаул может служить модельной территорией для изучения многолетних трендов накопления МП в условиях континентального климата юга Западной Сибири.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interests.

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

Список литературы

Архив погоды. 2026. URL: [https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Барнауле_\(АМС\)](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Барнауле_(АМС)) (дата обращения: 20.03.2026).

Иванова Е.В., Гузева А.В., Лапенков А.Е., Поздняков Ш.Р., Капустина Л.Л., Митрукова Г.Г., Тихонова Д.А. Особенности применения красителя нильский красный для идентификации частиц пластика в природных объектах // Российский журнал прикладной экологии. 2020. №4 (24). С. 36–42.

Росстат. Население Барнаульского городского округа. 2026. URL: <https://22.rosstat.gov.ru/folder/219321#> (дата обращения: 20.03.2026).

Швецов А.Я., Горлов Е.А. Природные условия Барнаула. Барнаул: Изд-во «Новый формат», 2020. 178 с.

Al-Azzawi M.S.M., Kefer S., Weißer J., Reichel J., Schwaller C., Glas K., Knoop O., Drewes J.E. Validation of sample preparation methods for microplastic analysis in wastewater matrices – reproducibility and standardization // Water. 2020. Vol. 12, no. 9. P. 2445. doi: 10.3390/w12092445

Ask A., Anker-Nilssen T., Herzke D., Trevail A., van Franeker J.A., Gabrielezen G.W. Contaminants in northern fulmars (*Fulmarus glacialis*) exposed to plastic. Nordic Council of Ministers, 2016. 543 p. doi: 10.6027/TN2016-543

Blomqvist G., Järskog I., Gustafsson M., Polukarova M., Andersson-Sköld Y. Microplastics in snow in urban traffic environments. Statens vägoch transportforskningsinstitut, 2023. P. 1–81. VTI rapport 1171A 03476030 (ISSN).

Chernykh D.V., Biryukov R.Y., Kuryatnikova N.A., Malygina N.S. Microplastics in the Snow Cover of Urban Landscapes: A Case Study of Barnaul // Geography and Natural Resources. 2023. Vol. 43. P. S44–S49. doi: 10.1134/S1875372822050080

Frank Y.A., Tatsii D., Rednikin A.R., Plach A., Rakhmatullina S.N., Vorobiev D.S., Stohl A. It is snowing microplastics in Western Siberia // Environmental Pollution. 2025. Vol. 364. P. 125293. doi: 10.1016/j.envpol.2024.125293

Han W., Li Z., Wu F., Zhang Y., Guo J., Su T., Cribb M., Fan J., Chen T., Wei J., Lee S.S. The mechanisms and seasonal differences of the impact of aerosols on daytime surface urban heat island effect // Atmospheric Chemistry and Physics. 2020. Vol. 20, no. 11. P. 6479–6493. doi: 10.5194/acp-20-6479-2020

Hamilton B.M., Harris L.N., Provencher J.F., Rochman C.M. The utility of monitoring snow for microplastics in the Arctic: a pilot study from Iqaluktuuttiaq, Nunavut // Arctic Science. 2024. Vol. 10, no. 3. P. 476–482. doi: 10.1139/as-2023-0041

Ho D., Liu S., Wei H., Karthikeyan K.G. The glowing potential of Nile red for microplastics identification: science and mechanism of fluorescence staining // Microchemical Journal. 2024.

Vol. 197. P. 109708. doi: 10.1016/j.microc.2023.109708

Jones-Williams K., Rowlands E., Primpke S., Galloway T., Cole M., Waluda C., Manno C. Microplastics in Antarctica – a plastic legacy in the Antarctic snow? // *Science of the Total Environment*. 2025. Vol. 966. P. 178543. doi: 10.1016/j.scitotenv.2025.178543

Karapetrova A., Cowger W., Michell A., Braun A., Bair E., Gray A., Gan J. Exploring microplastic distribution in Western North American snow // *Journal of Hazardous Materials*. 2024. Vol. 480. P. 136126. doi: 10.1016/j.jhazmat.2024.136126

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. P. 96–103. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.405

Maw M.M., Boontanon N., Fujii S., Boontanon S.K. Rapid and efficient removal of organic matter from sewage sludge for extraction of microplastics // *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 853, No. 9. P. 158642. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158642

Meyers N., Catarino A.I., Declercq A.M., Brenan A., Devriese L., Vandegheuchte M., de Witte B., Janssen C., Everaert G. Microplastic detection and identification by Nile red staining: towards a semiautomated, cost and timeeffective technique // *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 823. P. 153441. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153441

Mutshekwa T., Mulaudzi F., Maiyana V.P., Mofu L., Munyai L.F., Murungweni F.M. Atmospheric deposition of microplastics in urban, rural, forest environments: a case study of Thulamela Local Municipality // *PLoS ONE*. 2025. Vol. 20, no. 3. doi: 10.1371/journal.pone.0313840

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. There's something in the air: a review of sources, prevalence and behaviour of microplastics in the atmosphere // *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 874, no. 23. P. 162193. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162193

Ruvina T., Castillo J.D. Rapid detection of microplastic contamination using Nile red fluorescent tagging // *International Journal of Biosciences*. 2024. Vol. 24, no. 2. P. 103–109. doi: 10.12692/ijb/24.2.103-109

Süssmann J., Fischer E.K., Hildebrandt L., Walz E., Greiner R., Rohn S., Fritsche J. Nile red staining for rapid screening of plasticsuspect particles in edible seafood tissues // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2024. Vol. 416, no. 14. P. 3459–3471. doi: 10.1007/s00216-024-05296-8

Tatsii D., Bucci S., Bhowmick T., Guettler J., Bakels L., Bagheri G., Stohl A. Shape matters: longrange transport of microplastic fibers in the atmosphere // *Environmental Science & Technology*. 2024. Vol. 58, no. 1. P. 671–682. doi: 10.1021/acs.est.3c08209

Xu R., Sheng W., Zhou F., Persson B.N.J. Correction: Rubber wear: history, mechanisms, and perspectives // *Tribology Letters*. 2025. Vol. 73. P. 123. doi: 10.1007/s11249-025-02057-1

Yu J.T., Diamond M.L., Ward E., Adams J.K., Cherian-Hall A., Gamberg M., Obediah T., Palmer M., Platt A., Worthy C., Finkelstein S.A., Jantunen L.M. Snow as an indicator of atmospheric transport of anthropogenic particles (microplastics and microfibers) from urban to Arctic regions // *Arctic Science*. 2025. Vol. 11. P. 1–14. doi: 10.1139/as-2024-0045

References

Arxiv pogody. 2026. URL: [https://rp5.ru/Arxiv_pogody_v_Barnaule_\(AMS\)](https://rp5.ru/Arxiv_pogody_v_Barnaule_(AMS)) (accessed: 20.03.2026).

Ivanova E.V., Guzeva A.V., Lapenkov A.E., Pozdnyakov Sh.R., Kapustina L.L., Mitrukova G.G., Tixonova D.A. Osobennosti primeneniya krasitelya nil'skij krasnyj dlya identifikacii chastic plastika v prirodnyh ob'ektah [Features of using Nile red dye for identification of plastic particles in natural objects] // Rossijskij zhurnal prikladnoj ekologii [Russian Journal of Applied Ecology]. 2020. No. 4 (24). P. 36–42. (in Russian).

Rosstat. Naselenie Barnaul'skogo gorodskogo okruga [Population of the Barnaul urban district]. 2026. URL: <https://22.rosstat.gov.ru/folder/219321#> (accessed: 20.03.2026).

Shveczov A.Ya., Gorlov E.A. Prirodnye usloviya Barnaula [Natural conditions of Barnaul]. Barnaul: Novyj format, 2020. 178 p. (in Russian).

Al-Azzawi M.S.M., Kefer S., Weißer J., Reichel J., Schwaller C., Glas K., Knoop O., Drewes J.E. Validation of sample preparation methods for microplastic analysis in wastewater matrices – reproducibility and standardization // Water. 2020. Vol. 12, no. 9. P. 2445. doi: 10.3390/w12092445

Ask A., Anker-Nilssen T., Herzke D., Trevail A., van Franeker J.A., Gabrielezen G.W. Contaminants in northern fulmars (*Fulmarus glacialis*) exposed to plastic. Nordic Council of Ministers, 2016. 543 p. doi: 10.6027/TN2016-543

Blomqvist G., Järnskog I., Gustafsson M., Polukarova M., Andersson-Sköld Y. Microplastics in snow in urban traffic environments. Statens vägoch transportforskningsinstitut, 2023. P. 1–81. VTI rapport 1171A 03476030 (ISSN).

Chernykh D.V., Biryukov R.Y., Kuryatnikova N.A., Malygina N.S. Microplastics in the Snow Cover of Urban Landscapes: A Case Study of Barnaul // Geography and Natural Resources. 2023. Vol. 43. P. S44–S49. doi: 10.1134/S1875372822050080

Frank Y.A., Tatsii D., Rednikin A.R., Plach A., Rakhmatullina S.N., Vorobiev D.S., Stohl A. It is snowing microplastics in Western Siberia // Environmental Pollution. 2025. Vol. 364. P. 125293. doi: 10.1016/j.envpol.2024.125293

Han W., Li Z., Wu F., Zhang Y., Guo J., Su T., Cribb M., Fan J., Chen T., Wei J., Lee S.S. The mechanisms and seasonal differences of the impact of aerosols on daytime surface urban heat island effect // Atmospheric Chemistry and Physics. 2020. Vol. 20, no. 11. P. 6479–6493. doi: 10.5194/acp-20-6479-2020

Hamilton B.M., Harris L.N., Provencher J.F., Rochman C.M. The utility of monitoring snow for microplastics in the Arctic: a pilot study from Iqaluktuuttiaq, Nunavut // Arctic Science. 2024. Vol. 10, no. 3. P. 476–482. doi: 10.1139/as-2023-0041

Ho D., Liu S., Wei H., Karthikeyan K.G. The glowing potential of Nile red for microplastics identification: science and mechanism of fluorescence staining // Microchemical Journal. 2024. Vol. 197. P. 109708. doi: 10.1016/j.microc.2023.109708

Jones-Williams K., Rowlands E., Primpke S., Galloway T., Cole M., Waluda C., Manno C.

Microplastics in Antarctica – a plastic legacy in the Antarctic snow? // *Science of the Total Environment*. 2025. Vol. 966. P. 178543. doi: 10.1016/j.scitotenv.2025.178543

Karapetrova A., Cowger W., Michell A., Braun A., Bair E., Gray A., Gan J. Exploring microplastic distribution in Western North American snow // *Journal of Hazardous Materials*. 2024. Vol. 480. P. 136126. doi: 10.1016/j.jhazmat.2024.136126

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. P. 96–103. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.405

Maw M.M., Boontanon N., Fujii S., Boontanon S.K. Rapid and efficient removal of organic matter from sewage sludge for extraction of microplastics // *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 853, No. 9. P. 158642. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158642

Meyers N., Catarino A.I., Declercq A.M., Brenan A., Devriese L., Vandegheuchte M., de Witte B., Janssen C., Everaert G. Microplastic detection and identification by Nile red staining: towards a semiautomated, cost and timeeffective technique // *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 823. P. 153441. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153441

Mutshekwa T., Mulaudzi F., Maiyana V.P., Mofu L., Munyai L.F., Murungweni F.M. Atmospheric deposition of microplastics in urban, rural, forest environments: a case study of Thulamela Local Municipality // *PLoS ONE*. 2025. Vol. 20, no. 3. doi: 10.1371/journal.pone.0313840

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. There's something in the air: a review of sources, prevalence and behaviour of microplastics in the atmosphere // *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 874, no. 23. P. 162193. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162193

Ruvina T., Castillo J.D. Rapid detection of microplastic contamination using Nile red fluorescent tagging // *International Journal of Biosciences*. 2024. Vol. 24, no. 2. P. 103–109. doi: 10.12692/ijb/24.2.103-109

Süssmann J., Fischer E.K., Hildebrandt L., Walz E., Greiner R., Rohn S., Fritsche J. Nile red staining for rapid screening of plasticsuspect particles in edible seafood tissues // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2024. Vol. 416, no. 14. P. 3459–3471. doi: 10.1007/s00216-024-05296-8

Tatsii D., Bucci S., Bhowmick T., Guettler J., Bakels L., Bagheri G., Stohl A. Shape matters: longrange transport of microplastic fibers in the atmosphere // *Environmental Science & Technology*. 2024. Vol. 58, no. 1. P. 671–682. doi: 10.1021/acs.est.3c08209

Xu R., Sheng W., Zhou F., Persson B.N.J. Correction: Rubber wear: history, mechanisms, and perspectives // *Tribology Letters*. 2025. Vol. 73. P. 123. doi: 10.1007/s11249-025-02057-1

Yu J.T., Diamond M.L., Ward E., Adams J.K., Cherian-Hall A., Gamberg M., Obediah T., Palmer M., Platt A., Worthy C., Finkelstein S.A., Jantunen L.M. Snow as an indicator of atmospheric transport of anthropogenic particles (microplastics and microfibers) from urban to Arctic regions // *Arctic Science*. 2025. Vol. 11. P. 1–14. doi: 10.1139/as-2024-0045

INTERANNUAL DYNAMICS OF MICROPLASTIC CONTENT IN THE SNOW COVER OF THE BARNAUL AGGLOMERATION (BASED ON DATA FROM 2025 AND 2026)

D.A. Filippenko

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: filippenko.danil99@yandex.ru

The article presents the results of two-year monitoring of snow cover pollution in the Barnaul agglomeration with microplastics (MP) particles. Samples were collected at 49 points covering the main functional zones and landscape settings of the city. The concentration of MP was determined using fluorescence microscopy with Nile red staining. Snow pollution was found to be widespread, with average concentrations of 137.6 ± 77.5 particles/liter of melted snow (2025) and 57.4 ± 25.9 particles/liter of melted snow (2026). A sharp inter-annual variability (decrease by more than half) was revealed, which is not explained by meteorological factors. Statistically significant inter-annual differences were confirmed by the Mann-Whitney U test ($p < 0.001$). The highest concentrations were recorded in the industrial zone, and the lowest concentrations were recorded in the zone of individual low-rise buildings. The landscape distribution of pollution peaks varies from year to year. These results highlight the need for regular monitoring of MP in the snow cover of urbanized areas.

Keywords: microplastics; Barnaul; snow cover; spatial distribution; functional zones; microscopy; Nile red.

Received: January 12, 2026. Accepted: March 27, 2026

Сведения об авторе

Филиппенко Данил Алексеевич – аспирант Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-3483-4161. E-mail: filippenko.danil99@yandex.ru.

Information about the author

Filippenko Danil Alekseevich – Postgraduate student of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-3483-4161. E-mail: filippenko.danil99@yandex.ru.