

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ББК 26.221

УДК 504.4.054

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-45-55>



## Гражданская наука в исследованиях микропластикового загрязнения Российской Арктики

Ершова А.А.<sup>1,✉</sup>, Смолокуров А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Архангельское региональное молодежное экологическое общественное движение «Чистый Север — Чистая страна», Архангельск, Россия

✉ [plasticlab.2019@gmail.com](mailto:plasticlab.2019@gmail.com)

**Аннотация.** Представлена работа по исследованию микропластикового загрязнения морей Российской Арктики с помощью метода «гражданской науки» в течение 2020–2022 гг. Представлены методические подходы к отбору проб и их лабораторной обработке при выделении частиц микропластика из природных проб, а также некоторые результаты исследования роли Нордкапского течения в переносе микропластика в российскую часть Баренцева моря из региона Северной Атлантики. Показана эффективность совместного сотрудничества общественных организаций и научных институтов для обеспечения научно обоснованными методическими подходами волонтеров, проводящих исследования в труднодоступных регионах Арктики. Опубликованные методические пособия и образовательные материалы находятся в открытом доступе для использования в будущих исследованиях всех желающих.

**Ключевые слова:** гражданская наука, Арктика, микропластик, Баренцево море

**Конфликт интересов:** авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Ершова А.А., Смолокуров А.В. Гражданская наука в исследованиях микропластикового загрязнения Российской Арктики. *Арктика и инновации*. 2024;2(1):45–55. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-45-55>

## Citizen science in studying the microplastic pollution of the Russian Arctic

Ershova A.A.<sup>1,✉</sup>, Smolokurov A.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Russian State Hydrometeorological University (RSHU), Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Arkhangelsk regional youth environmental public movement “Clean North — Clean Country”, Arkhangelsk, Russia

✉ [plasticlab.2019@gmail.com](mailto:plasticlab.2019@gmail.com)

**Abstract** The article presents a long-term study (2020–2022) on microplastic pollution in the seas of the Russian Arctic using the citizen science method. Methodological approaches to sample collection and their laboratory processing for isolating microplastic particles from environmental samples are presented, as well as some results of studying the role of the North Cape Current in microplastics transfer from the North Atlantic region to the Russian part of the Barents Sea. The joint cooperation between public organizations and scientific institutes is shown to be effective in providing science-based methodological approaches to volunteers conducting research in hard-to-reach regions of the Arctic. The published guidelines and educational materials are publicly available to everyone interested in using them in future research.

**Keywords:** citizen science, Arctic, microplastics, Barents Sea

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Ershova A.A., Smolokurov A.V. Citizen science in studying the microplastic pollution of the Russian Arctic. *Arctic and Innovations*. 2024;2(1):45–55. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2024-2-1-45-55>

## Введение

В последние годы проблема микропластикового загрязнения Мирового океана стала одной из самых актуальных экологических проблем. Микропластик (частицы пластика менее 5 мм) представляет серьезную угрозу для морской биоты: эти частицы накапливаются в организме, затрудняя дыхание и питание животных, а также переносят на своей поверхности опасные токсиканты [1, 2]. Микропластик обнаружен в том числе и в организме человека [3].

Особенный интерес представляют исследования загрязнения микропластиком Арктического региона, который считается одним из наиболее уязвимых в мире к антропогенному воздействию. Исследования микропластикового загрязнения в данном регионе проводятся на протяжении нескольких лет. Было описано накопление пластикового мусора на берегах Западной Арктики, в том числе на архипелаге Новая Земля, и проглатывание пластикового мусора арктическими морскими птицами и млекопитающими [4–6]. В Баренцевом море был обнаружен как крупный плавающий мусор [7], так и синтетические микроволокна в водной толще [8, 9].

Исследования пластикового загрязнения особенно сложны в Арктике из-за удаленности этого региона, отсутствия инфраструктуры и суровых условий окружающей среды. Традиционные научные исследования часто ограничиваются летними месяцами и требуют использования судов ледового класса [10]. Из-за высокой стоимости исследовательских экспедиций в Арктике они проводятся редко, а существующие опу-

бликованные данные обычно представляют только один год (или один месяц) отбора проб и фактически показывают лишь одномоментную концентрацию, чего недостаточно для оценки сезонной динамики, накопления и распределения микропластика. Для более регулярных мониторинговых исследований в Арктике возможно применение «гражданской науки», то есть научных исследований с привлечением обученных волонтеров.

## «Гражданская наука» в мире и в Арктике

«Гражданская наука» успешно используется при очистке пляжей по всему миру и привлекает волонтеров, туристов, а также местных жителей, которые принимают активное участие в очистке родных территорий и перенимают опыт ученых для самостоятельного проведения регулярных мониторинговых исследований выброшенного на берег мусора [11, 12]. Одним из примеров применения «гражданской науки» в исследованиях микропластикового загрязнения природных вод является глобальная инициатива под названием «100 Plastic Rivers — a global investigation» («100 пластиковых рек — глобальное исследование»), направленная на понимание распределения микропластика в реках по всему миру и объединяющая ученых в более чем 60 странах для отбора проб воды и донных отложений в реках с помощью простого, надежного, недорогого и стандартизированного подхода. Используя «гражданскую науку», пробы воды собирают из выбранных рек, а затем перевозят в оборудованную лабораторию для анализа микро-

пластика. Все собранные данные затем компилируются в базу данных с открытым доступом.

Другим примером успешного применения «гражданской науки» в мире является сбор морского мусора волонтерами на берегах, например инициатива «Nurdle Hunt» («Охота за гранулами»), которая охватывает все континенты, а база данных насчитывает вклад от более чем 1000 организаций. Успешным примером реализации подхода «гражданской науки» в мониторинге морского мусора в Российской Федерации является акция «Чистый берег», ежегодно проводимая под эгидой Правительства Санкт-Петербурга на побережье Финского залива и объединяющая до 500 участников ежегодно — местных жителей, волонтеров и студентов образовательных учреждений города. В рамках этой акции проводится мониторинг берегового мусора по единой международной методике (протокол ОСПАР), а данные объединяются в единой базе данных для последующего использования учеными [13].

В Арктике «гражданская наука» в последнее время также стала основой для относительно регулярного мониторинга морского мусора на побережьях. Участники туристических круизов активно помогают собирать и классифицировать мусор на побережьях при высадках на наиболее отдаленные и необитаемые острова арктических архипелагов, тем самым пополняя базу данных по характеристикам выброшенного на берег макромусора [14]. В российском секторе Западной Арктики береговые исследования (или так называемые «учеты») морского мусора с участием волонтеров и туристов проводятся с 2019 года сотрудниками Национального парка «Русская Арктика», охватывающего часть архипелага Новая Земля (мыс Желания на острове Северный) и архипелаг Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) и представляющего собой уникальную среду обитания многих редких видов животных и птиц. Ежегодные летние экспедиции «Арктического плавучего университета (АПУ)» Северного Арктического федерального университета (САФУ) приобрели первостепенное значение для изучения морского мусора в регионе Баренцева и Карского морей. В основе этой программы лежит концепция «обучение через исследование» — образовательная технология

ЮНЕСКО, реализуемая в России с начала 1990-х годов в формате плавучих университетов [15], предполагающая активное участие студентов на всех этапах обучения, в том числе в ходе полевых работ. Экспедиции АПУ включают обязательную серию высадок на побережья архипелагов Новая Земля и Земля Франца-Иосифа, что позволяет получить уникальные данные о морском мусоре в самых труднодоступных местах Западной Арктики. Таким образом, для регулярных исследований микропластикового загрязнения Российской Арктики концепция «гражданской науки» представляется экономически эффективной и относительно простой в исполнении.

В 2020 году с помощью волонтеров экологического молодежного движения «Чистый Север — Чистая страна» было проведено первое скрининговое исследование содержания микропластика в прибрежной зоне Белого моря и внутренних водоемах Архангельской области на основе научно обоснованного подхода. В полевых работах и изучении отбора проб приняли участие более 200 волонтеров, среди которых молодые ученые и школьники из многих населенных пунктов Архангельской области. Совместно с региональной общественной организацией «Экопатруль» были проведены однодневные выезды по сбору и вывозу мусора из труднодоступных мест. Последующие мероприятия также включали подготовку образовательных видеороликов, ведение онлайн-дневника экспедиции и 7 экологических уроков, которые просмотрели онлайн более 6000 человек. Дневник полевых работ, транслируемый онлайн в социальных сетях, позволил зрителям «прожить» экспедицию, познакомиться с полевыми работами и уникальной природной средой Русского Севера, освоить навыки жизни на природе с минимизацией личного экоследа. Заключительная конференция проекта собрала 150 человек в возрасте от 18 до 35 лет.

Методика отбора проб была разработана в научно-исследовательской лаборатории ПластикЛаб РГГМУ и в дальнейшем адаптирована для использования волонтерами. Таким образом было разработано и опубликовано в открытом доступе «Методическое пособие по мониторингу микропластика в водной среде с использованием гражданской науки» [16], которое представляет

руководство по отбору проб с использованием легкого в применении и доступного оборудования. Впервые был применен опыт сотрудничества научного сообщества и волонтерского движения, благодаря чему была создана прочная основа настоящей «гражданской науки» в Архангельской области и в Российской Арктике в целом в области изучения важной экологической проблемы XXI века — загрязнения морской среды микропластиком.

Результаты 2020 года стали основой для дальнейшего углубленного исследования этой проблемы в Российской Арктике. Для понимания источников поступления микропластика и путей его распространения в этом регионе было необходимо исследовать прилегающую акваторию Баренцева моря и, в частности, Нордкапское течение, ветви которого омывают побережье Кольского полуострова, простираясь до Печорского моря. Исходя из этого следующее исследование провели летом 2022 года в ходе «Экологической экспедиции по исследованию содержания микропластика в Нордкапском течении Арктического бассейна» в рамках Международной премии #МЫВМЕСТЕ при Президенте Российской Федерации с участием 240 волонтеров Архангельского молодежного движения «Чистый Север — Чистая страна». В исследовании участвовали студенты и ученые из научных учреждений и университетов, мурманские и архангельские экологические организации, местные жители из ЗАТО Островной, поселка Териберка, а также поселка Вайда Губа, которые проявили особый интерес к защите окружающей среды на своих родных территориях. Участие территориальных волонтеров в этой экспедиции подчеркивает роль «гражданской науки» в сборе данных, формировании общественного сознания и принятии решений в сфере охраны окружающей среды. Сбор данных для настоящего исследования также частично осуществлялся в ходе экспедиции «Арктический плавучий университет — 2022: меняющаяся Арктика».

## Исследование микропластикового загрязнения в Российской Арктике

### Отбор проб

Специфика проведения полевых исследований определяла выбранный метод отбора проб. Использование традиционных методов исследования микропластика, таких как нейстонные сети (траление с суд-

на) или насосные фильтрующие устройства (требующие источников энергии) было затруднительно в 2020 году. Полевые работы проводились в отдаленных регионах с ограниченным доступом, где не было дорог и транспортного сообщения; при этом некоторые однодневные маршруты более 20 км преодолевались пешком. Основными критериями выбора стратегии отбора проб стали: легкие и простые в использовании инструменты, независимые от источника энергии; процедура отбора проб, которую легко повторить волонтерам; размер фракции микропластика, ограниченный определением прибором (спектрометр ИК Фурье). В 2020 году для исследования использовались чистые ведра и набор сит с ячейками разного размера. При этом смыв образца с сит производился в специально оборудованной полевой лаборатории со всеми необходимыми требованиями к чистоте рабочего места, а также с помощью предварительно подготовленного в лаборатории Архангельска оборудования. В 2022 году исследование загрязнения Нордкапского течения микропластиковыми частицами проходило в прибрежных водах Кольского полуострова и в открытой части Баренцева моря (июнь — июль 2022 г.), а также в прибрежных водах Печорского моря (сентябрь 2022 г.). Таким образом, наличие маломерного или крупного судна обуславливало выбор пробоотбора в этом исследовании. Отбор проб воды в прибрежных водах производился в момент отлива с помощью автономного пробоотборника-фильтра «HydroPuMP-5», разработанного в ПластикЛаб РГГМУ для работы в прибрежной зоне [17]. Пробоотборник-фильтр оснащен сменными насадками с металлическими фильтрами размером ячеей 100 мкм.

Исследования 2020 и 2022 гг. проводились по единому подходу: для получения одной концентрированной пробы с помощью специальной насадки или сита фильтровалось не менее 100 литров воды на металлический фильтр/сито с размером ячеей 100 мкм. Чистота проведения пробоотбора и лабораторной обработки проб является ведущим фактором достоверности полученных данных о содержании микропластика. Специальная пробоотборная система ПластикЛаб позволяет максимально изолировать полученный образец от внешнего загрязнения микропластиком в связи с закрытой конструкцией фильтровальной насадки.





**Рис. 1.** Карта станций отбора проб воды и грунта на микропластик в прибрежной зоне и в открытой части Баренцева и Печорского морей в 2022 г.

**Fig. 1.** Map of water and soil sampling stations in the coastal zone and offshore areas of the Barents and Pechora Seas in 2022

В 2022 году пробы отобраны вдоль всего побережья Кольского полуострова (п-ов Рыбачий, Териберка, ЗАТО Островной), а также на побережьях у поселка Варандей в Печорском море. Впервые в этом регионе отобраны образцы не только морской воды, но и донных отложений в прибрежной зоне. Отбор проб грунта проводился только в прибрежной зоне у линии заплеска воды металлической лопаткой в стеклянную банку объемом 0,5 л; вес отобранного грунта составил от 400 до 600 г. Всего в 2022 г. в рамках исследования Нордкапского течения было отобрано 8 проб морской воды и 5 проб грунта (рис. 1).

#### Пробоподготовка

В рамках исследований 2020 и 2022 гг. лабораторную обработку образцов осуществляли несколько научных центров: лаборатория ПластикЛаб РГГМУ, лаборатория биомониторинга САФУ и ЦКП «Арктика» (г. Архангельск) согласно единому методическому подходу.

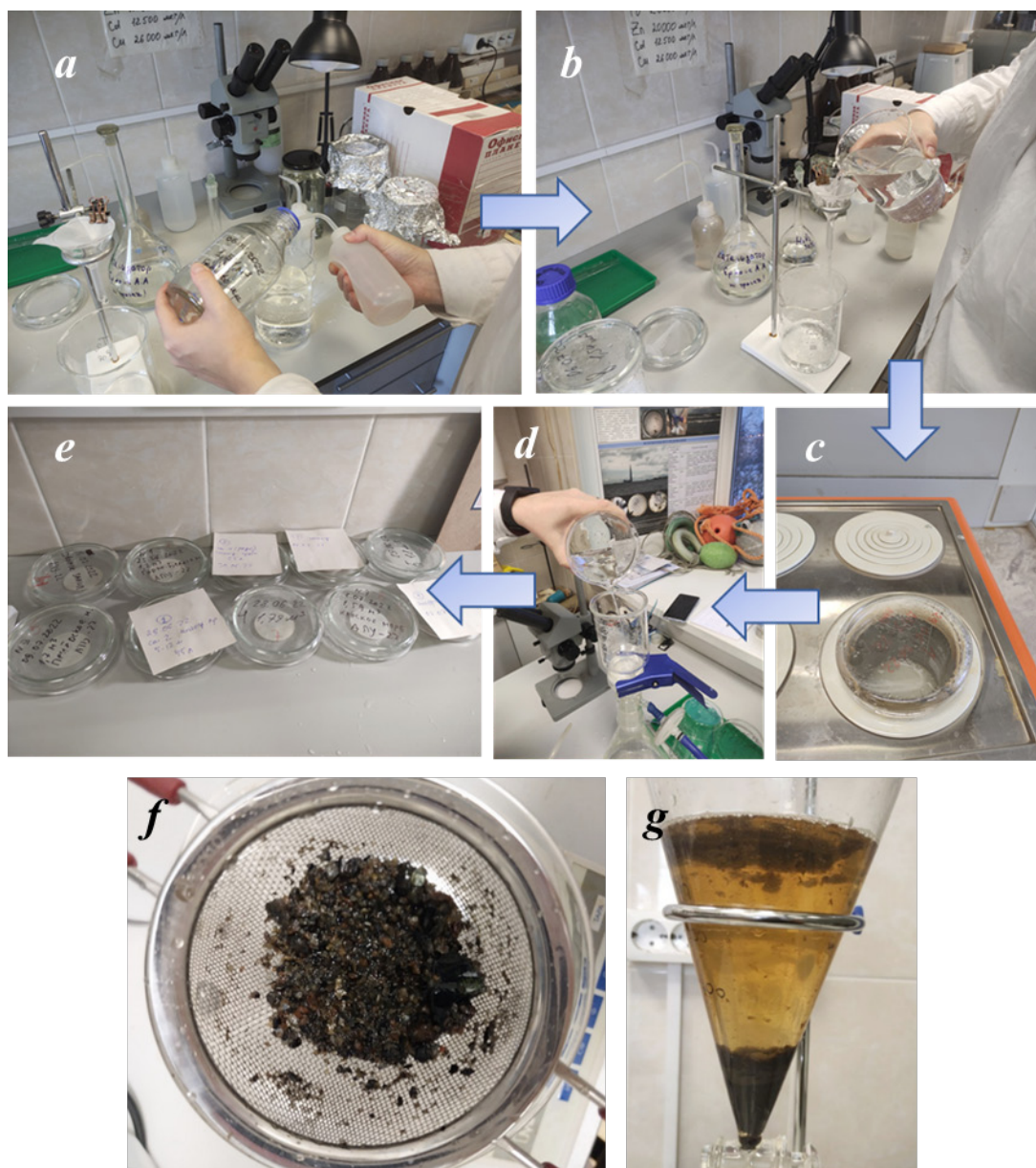
В процессе пробоподготовки удаление органического материала не синтетической (пластиковой) природы проводили путем обработки образца перекисью водорода (30 %) в присутствии катализатора на основе сернистого двухвалентного железа (реактив Фентона) на водяной бане

при температуре +60 °С, а также с дополнительной обработкой соляной кислотой (1:1.5). Для проб донных отложений проводили дополнительные этапы отделения частиц микропластика от образца: после предварительного мокрого просеивания (для освобождения от крупной фракции грунта) проводили плотностное разделение с помощью плотного раствора хлорида цинка (плотностью 1,7 г/см<sup>3</sup>) в делительной воронке [18].

После проведения всех этапов пробоподготовки образец концентрировался на фильтре политетрафторэтилена (PTFE) (Agilent Technologies, Германия, диаметр 47 мм, размер пор 0,45 мкм) с помощью вакуумной системы фильтрации, после чего проводились гравиметрический и  $\mu$ FT-IR анализы в ЦКП «Арктика». ИК-спектры записывали с использованием ИК-Фурье спектрометра Vertex 70V (Bruker, Германия) и ИК-микроскопа Hyperion 3000 (Bruker, Германия), оснащенного VIS- и IR-объективами [19]. Обработку спектров проводили с использованием ПО «OPUS» (Bruker, Германия).

#### Контроль загрязнения

Исследование содержания микропластиковых частиц в образцах компонентов природной среды обязательно проводится с контролем загрязнения на всех этапах



**Рис. 2.** Цикл лабораторной обработки проб воды в лаборатории ПластикЛаб для выделения частиц микропластика из природного образца: мокрое просеивание (а, б); термохимическая обработка (выдерживание на водяной бане с добавленными реактивами) (с); вакуумная фильтрация, высушивание фильтров в чашках Петри (д, е); отделение крупной фракции частиц грунта от мелкой (ф); плотностное разделение в делительной воронке (г)

**Fig. 2.** Laboratory processing of water samples at PlasticLab for isolating microplastic particles from an environmental sample: rinse of the sample and wet sieving (a, b); thermochemical treatment (incubation in a water bath with added reagents) (c); vacuum filtration and drying of filters in Petri dishes (d, e); separation of the coarse fraction of soil particles from the fine fraction (f); density separation in a separating funnel (g)

исследования. В полевых условиях в процессе отбора проб крайне сложно избежать загрязнения микропластиком от внешних источников: одежды, судна и т.п., особенно в условиях Крайнего Севера (в связи с необходимостью использовать теплую одежду). Пробоотборная система ПластикЛаб позволяет максимально изолировать полученный образец от внешнего загрязнения микропластиком в связи с закрытой кон-

струкцией разработанных фильтровальных систем. Для дополнительного контроля загрязнения отбор проб проводится в специальных плащах яркого цвета для последующей легкой идентификации частиц данного типа защитной одежды в образцах (рис. 3), а также всегда проводится контроль внешнего загрязнения с помощью экспонирования смоченного фильтра на открытой чашке Петри в месте отбора проб.





**Рис. 3.** Отбор проб воды с помощью пробоотборника «HydroPuMP-5» ПластикЛаб РГГМУ (использование защитных плащей яркого цвета для контроля загрязнения)

**Fig. 3.** Sampling of water by means of the HydroPuMP-5 sampler of RSHU PlasticLab (use of brightly colored protective cloaks to control pollution)

При пробоподготовке и лабораторной обработке образцов используются исключительно хлопковые халаты и стеклянная химическая посуда. Образцы обрабатываются в условиях «чистой лаборатории»: все реактивы и дистиллированная вода фильтруются, обработка проводится под вытяжкой с обратной тягой, с контролем загрязнения (фильтр в открытой чашке Петри). Используемые PTFE-фильтры предварительно также промываются изопропанолом с целью исключения влияния уже присутствующих на фильтре частиц (если такие имеются) на последующие анализы. Фильтры всегда хранятся и высушиваются в стеклянных чашках Петри.

### Результаты исследования

В 2020 году было проведено первое (скрининговое) исследование содержания микропластика в водах Белого моря и впадающих в него рек, показавшее концентрации микропластика от 0 до 6 шт./м<sup>3</sup>. Исследование было сосредоточено на притоках Белого моря с отбором проб вблизи основных населенных пунктов и на малых озерах в труднодоступных местах для оценки фонового загрязнения микропластиком. В отдаленных озерах на незаселенных территориях микропластик не был обнаружен, тогда как в прибрежных районах населенных пунктов присутствовали частицы синтетических полимеров, причем в качестве важного источника установлена река Северная Двина, включая ее приток реку Вага, где

наблюдалось самое высокое содержание микропластиковых частиц (6 шт./м<sup>3</sup>) [12]. Данное исследование показало, что реки Архангельской области являются важным источником микропластика в Белом море.

На протяжении всего маршрута в 2020 году экспедиция обнаружила множество открытых свалок пластиковых отходов. Равнинный тундровый ландшафт с сильными ветрами благоприятствует распространению мусора на большие расстояния. Мусор, в том числе пластиковый, обнаруживался в течение всего пути вдали от населенных пунктов. Особенностью этого региона является обилие макрообъектов, оставшихся в период освоения Крайнего Севера в XX веке: больших железных бочек с топливом, строительных материалов и даже фрагментов ступеней ракет.

В 2022 году исследование проводилось в прибрежной части морских акваторий Баренцева и Печорского моря. Нордкапское течение является мощным теплым течением, определяющим климат и гидрологические условия всей южной части Баренцева моря. Оно входит в Баренцево море с запада, огибая мыс Нордкап в Норвегии, и по сути является продолжением известного всем Гольфстрима. Здесь, у берегов Кольского полуострова, Нордкапское течение по мере продвижения на восток разделяется еще на несколько ветвей: Прибрежное и Северное течения, Мурманское и Колгуевское.

Являясь мощным теплым поверхностным течением, Нордкапское течение, очевидно, переносит пластиковый мусор в акваторию Баренцева моря из Северной Атлантики, в том числе — и частицы микропластика.

Некоторые предварительные результаты экспедиции 2022 года показали следующее. Самые высокие концентрации микропластика зафиксированы в 2022 году в прибрежной зоне Кольского полуострова в зоне влияния Мурманского течения (ЗАО Островной, 110 шт./м<sup>3</sup>), а также в районе п-ова Варандей (40 шт./м<sup>3</sup>), где влияние течения уже не прослеживается, а ведущую роль в поступлении загрязнений принимает на себя сток реки Печора. При этом микропластика в открытом море значительно меньше, чем в прибрежной зоне Баренцева моря, что говорит о важнейшей роли береговой зоны в поступлении пластика в морскую среду. Действительно, можно выделить два важных источника микропластика на суше в этом регионе: крупный пластиковый мусор, выбрасываемый на берег морем (куски рыболовных сетей, веревок, ящиков), и многочисленные свалки (строительный мусор, бытовые отходы), например на п-ове Варандей.

Самые встречаемые типы синтетических полимеров в пробах 2022 года: полипропилен (PP) и полиэтилен (PE), причем в донных отложениях полиэтилена более 50 %. Именно эти полимеры широко используются при изготовлении упаковки. До 85 % всех микропластиковых частиц являются частицами так называемого «настоящего» микропластика, то есть размерной категории менее 1 мм, а около половины — до 300 мкм. Этот результат в очередной раз подтверждает важность использования соответствующих пробоотборных устройств при исследовании микропластика, так как использование сетей с более крупной ячейкой приводит к значительному недоучету мелких частиц микропластика.

## Заключение

Результаты исследования загрязнения микропластиком в регионе Белого и Баренцева морей в 2020 и 2022 годах имеют важное значение для понимания масштабов проблемы загрязнения микропластиком в Российской Арктике в целом и способствуют разработке эффективных стратегий

борьбы с этим явлением. Помимо очевидного и подтвержденного вклада Нордкапского течения (и его ветвей) в загрязнение прибрежных акваторий Баренцева моря микропластиком, важнейшее значение имеют такие источники пластика, как свалки отходов в прибрежных населенных пунктах и сток северных рек.

«Гражданская наука» — это мощный инструмент расширения научных знаний о тех регионах, доступ к которым ограничен и сложен. Можно с уверенностью заключить, что в Арктическом регионе налажено успешное сотрудничество волонтерских и общественных организаций и научно-образовательных институтов и центров, что позволяет выполнять регулярные исследования (мониторинг) экологических проблем, в том числе таких, как загрязнение микропластиком морской среды. Результаты просветительской работы в рамках проектов экологического движения «Чистый Север — Чистая страна» — учебные материалы, эколоуроки и дневники экспедиций — распространяются среди волонтеров, школьников, студентов и местных жителей и доступны в интернете для дальнейшего распространения в режиме открытого доступа.

## Благодарности:

Исследования проведены в рамках проекта «Экологическая экспедиция по исследованию содержания микропластика в Нордкапском течении Арктического бассейна» в рамках Международной премии #МыВместе при Президенте Российской Федерации и программы «Арктический плавучий университет-2022: Меняющаяся Арктика», при поддержке проекта Госзадания Минобрнауки РФ № FSZU-2023-0002, с использованием оборудования ЦКП НО «Арктика» Северного Арктического федерального университета при поддержке проекта Госзадания Минобрнауки РФ № 0793-2020-0007, при поддержке программы «Арктический плавучий университет».

Авторы выражают благодарность всем волонтерам, участвовавшим в проведенных исследованиях в Архангельской области.

## Acknowledgments:

The studies were conducted under the project “Ecological Expedition to Study Microplastic Content in the North Cape Current of the Arctic Basin” as part of the International Award #WeAreTogether



and under the program “Arctic Floating University-2022: The Changing Arctic,” aided by the State Project No. FSZU-2023-0002 of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, by the State Project No. 0793-2020-0007 of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation with the use of the equipment of the Shared

Use of Equipment Center “Arktika” of the Northern (Arctic) Federal University, and by the program “Arctic Floating University.”

The authors would like to thank all the volunteers who participated in the studies conducted in the Arkhangelsk Region.

## Список литературы

1. Frias J.P.G.L., Nash R. Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*. 2019; 138: 145–147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>
2. Чубаренко И. П., Есюкова Е. Е., Хатмуллина Л. И., Лобчук О. И., Исаченко И. А., Буканова Т. В. Микропластик в морской среде. Москва: Научный мир; 2021.
3. Rist S., Almroth B.C., Hartmann N.B., Karlsson T.M., A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. *Science of The Total Environment*. 2018; 626: 720–726. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.092>
4. Vesman A., Moulin E., Egorova A., Zaikov K. Marine litter pollution on the Northern Island of the Novaya Zemlya archipelago. *Marine Pollution Bulletin*. 2020; 150: 110671. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110671>
5. Gavrilov M. Plastic Pollution and Seabirds in the Russian Arctic. Workshop Report, Moscow, 12–14 November 2019 [internet]. Conservation of Arctic Flora and Fauna, Akureyri, Iceland. Available at: <https://oaarchive.arctic-council.org/server/api/core/bitstreams/c390129c-06c9-4684-80d8-084dc348d958/content>
6. Meyer A.N., Lutz B., Bergmann M. Where does Arctic beach debris come from? Analyzing debris composition and provenance on Svalbard aided by citizen scientists. *Frontiers in Marine Science*. 2023; 10: 1092939. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1092939>
7. Pogojeva M., Zhdanov I., Berezina A., Lapenkov A., Kosmach D., Osadchiv A., et al. Distribution of floating marine macro-litter in relation to oceanographic characteristics in the Russian Arctic Seas. *Marine Pollution Bulletin*. 2021; 166: 112201. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112201>
8. Ершова А.А., Еремина Т.Р., Дунаев А.Л., Макеева И.Н., Татаренко Ю.А. Исследование загрязнения микропластиком морей российской Арктики и Дальнего Востока. *Арктика: экология и экономика*. 2021;11(2):164–177. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2021-2-164-177>
9. Ершова А.А., Еремина Т.Р., Макеева И.Н., Панькин Д.В., Татаренко Ю.А., Бerezina A.B., Кузьмина А. С. Микропластиковое загрязнение морской среды Баренцева и Карского морей в 2019 г. *Гидрометеорология и экология*. 2022;(69):691–711.
10. Bergmann M., Collard F., Fabres J., Gabrielsen G.W., Provencher J.F., Rochman C.M., et al. Plastic pollution in the Arctic. *Nat. Rev. Earth Environ*. 2022; 3: 323–337. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00279-8>
11. Bergmann M., B. Lutz, M.B. Tekman, L. Gutow. Citizen scientists reveal: Marine litter pollutes Arctic beaches and affects wild life. *Marine Pollution Bulletin*. 2017;125(1-2):535–540. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.055>
12. Ershova A., Makeeva I., Malgina E., Sobolev N., Smolokurov A. Combining citizen and conventional science for microplastics monitoring in the White Sea basin (Russian Arctic). *Marine Pollution Bulletin*. 2021;173(A):112955. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112955>
13. Ершова А.А. Морской мусор и микропластик в Финском заливе. Изучение глобальной экологической проблемы XXI века на региональном уровне. *Окружающая среда Санкт-Петербурга* [интернет]. 2022;(2):28–31. Режим доступа: <http://ecopeterburg.ru/wp-content/uploads/2022/06/OS-24-1.pdf>.
14. Meyer A.N., Lutz B., Bergmann M. Where does Arctic beach debris come from? Analyzing debris composition and provenance on Svalbard aided by citizen scientists. *Frontiers in Marine Science*. 2023;10:1092939. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1092939>

15. Karlin L., Shilin M., Eremina T., Ershova A., Suzyumov A. Studying sustainability through the research with the floating university project. In: Leal Filho W. (ed). Sustainable Development at Universities: New Horizons. Frankfurt am Main: Peter Lang Scientific Publishers; 2012, p. 723–731.
16. Ершова А.А., Макеева И.Н., Смолокуров А., и др. Метод мониторинга микропластика в воде с использованием гражданской науки: исследование в Российской Арктике. СПб: РГГМУ; 2021.
17. Ершова А.А., Татаренко Ю.А. Пробоотборник для определения содержания микропластика в морской воде (HydroPuMP). Патент на полезную модель № 206110 U1. Оpubл. 24.08.2021.
18. Макеева И.Н., Ершова А.А. Особенности детекции микропластика в донных отложениях. В: I Всероссийская конференция с международным участием по загрязнению окружающей среды микропластиком «MicroPlasticsEnvironment-2022». Т.1. Томск: Издательство Томского государственного университета; 2022, с. 122–125.
19. Резвый Т. В., Белесов А.В., Кожевников А.В.  $\mu$ ИК-спектры частиц микропластика на различных подложках. Свидетельство о гос. регистр. БД № 2023621821. Оpubл. 05.06.2023.

## References

1. Frias J.P.G.L., Nash R. Microplastics: Finding a consensus on the definition. Marine Pollution Bulletin. 2019;138:145–147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>
2. Chubarenko I.P., Esyukova E.E., Khatmullina L.I., Lobchuk O.I., Isachenko I.A., Bukanova T.V. Microplastics in the marine environment. Moscow: Nauchnyi mir Publ.; 2021. (In Russ.).
3. Rist S., Almroth B.C., Hartmann N.B., Karlsson T.M., A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. Science of The Total Environment. 2018;626:720–726. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.092>
4. Vesman A., Moulin E., Egorova A., Zaikov K. Marine litter pollution on the Northern Island of the Novaya Zemlya archipelago. Marine Pollution Bulletin. 2020;150:110671. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110671>
5. Gavrilov M. Plastic Pollution and Seabirds in the Russian Arctic. Workshop Report, Moscow, 12–14 November 2019 [internet]. Conservation of Arctic Flora and Fauna, Akureyri, Iceland. Available at: <https://oaarchive.arctic-council.org/server/api/core/bitstreams/c390129c-06c9-4684-80d8-084dc348d958/content>
6. Meyer A.N., Lutz B., Bergmann M. Where does Arctic beach debris come from? Analyzing debris composition and provenance on Svalbard aided by citizen scientists. Frontiers in Marine Science. 2023;10:1092939. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1092939>
7. Pogojeva M., Zhdanov I., Berezina A., Lapenkov A., Kosmach D., Osadchiv A., et al. Distribution of floating marine macro-litter in relation to oceanographic characteristics in the Russian Arctic Seas. Marine Pollution Bulletin. 2021;166:112201. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112201>
8. Ershova A. A., Eremina T. R., Dunaev A. L., Makeeva I. N., Tatarenko Yu. A. Study of microplastic pollution in the seas of the Russian Arctic and the Far East. Arctic: ecology and economy. 2021;11(2):164–177. (In Russ.). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2021-2-164-177>
9. Ershova A. A., Eremina T. R., Makeeva I. N., Pankin D.V., Tatarenko Yu.A., Berezina A.V., Kuzmina A.S. Microplastic pollution of the marine environment of the Barents and Kara Seas in 2019. *Gidrometeorologiya i ekologiya*. 2022;(69):691–711. (In Russ.).
10. Bergmann M., Collard F., Fabres J., Gabrielsen G.W., Provencher J.F., Rochman C.M., et al. Plastic pollution in the Arctic. Nat. Rev. Earth Environ. 2022;3:323–337. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00279-8>
11. Bergmann M., B. Lutz, M.B. Tekman, L. Gutow. Citizen scientists reveal: Marine litter pollutes Arctic beaches and affects wild life. Marine Pollution Bulletin. 2017;125(1–2):535–540. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.055>
12. Ershova A., Makeeva I., Malgina E., Sobolev N., Smolokurov A. Combining citizen and conventional science for microplastics monitoring in the White Sea basin (Russian Arctic). Marine Pollution Bulletin. 2021;173(A):112955. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112955>
13. Ershova A.A. Marine debris and microplastics in the Gulf of Finland. Study of the global environmental problem of the 21st century at the regional level. *Okruzhayushchaya sreda*

- Sankt-Peterburga [internet]. 2022;(2):28–31. Available at: <http://ecopeterburg.ru/wp-content/uploads/2022/06/OS-24-1.pdf> (In Russ.).
14. Meyer A.N., Lutz B., Bergmann M. Where does Arctic beach debris come from? Analyzing debris composition and provenance on Svalbard aided by citizen scientists. *Frontiers in Marine Science*. 2023;10:1092939. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1092939>
15. Karlin L., Shilin M., Eremina T., Ershova A., Suzyumov A. Studying sustainability through the research with the floating university project. In: Leal Filho W. (ed). *Sustainable Development at Universities: New Horizons*. Frankfurt am Main: Peter Lang Scientific Publishers; 2012, p. 723–731.
16. Ershova A.A., Makeeva I.N., Smolokurov A., et al. Method for monitoring microplastics in water using citizen science: research in the Russian Arctic. St. Petersburg: Russian State Hydrometeorological University (RSHU); 2021. (In Russ.).
17. Ershova A.A., Tatarenko Yu.A. Sampler for determining the content of microplastics in sea water (HydroPuMP). Utility model patent no. 206110 U1. Publ. date 24 August 2021. (In Russ.).
18. Makeeva I.N., Ershova A.A. Features of detection of microplastics in bottom sediments. In: *First All-Russian Conference with international participation on environmental pollution with microplastics «MicroPlasticsEnvironment-2022»*. Vol. 1. Tomsk: Tomsk State University Publishing House; 2022, p. 122–125. (In Russ.).
19. Rezvyi T.V., Belesov A.V., Kozhevnikov A.V.  $\mu$ IR spectra of microplastic particles on various substrates. Certificate of State Registration of the Database No. 2023621821. Publ. date 05 June 2023. (In Russ.).