

УДК 504.5 : 678.07

ББК 18

<https://doi.org/10.21443/3034-1434-2025-3-1-59-67>



Анализ и оценка накопления пластикового мусора в Арктике

Чусов А.Н.¹, , Абрамов В.М.²

¹ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия

²ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного
флота имени адмирала С.О. Макарова», Санкт-Петербург, Россия

 chusov_an@spbstu.ru


Аннотация. Рассматриваются источники загрязнения Арктики пластиковым мусором. Предлагаются схемы управления потоками пластикового мусора. Анализируется пространственное распределение пластикового мусора. Делаются выводы по особенностям массопереноса пластика и микропластика. Предлагается программа вовлечения в мониторинг микропластикового загрязнения местного населения.

Ключевые слова: пластиковый мусор, микропластик, массоперенос пластика, мониторинг пластикового загрязнения

Конфликт интересов: авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Чусов А.Н., Абрамов В.М. Анализ и оценка накопления пластикового мусора в Арктике. *Арктика и инновации*. 2025;3(1):59–67. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2025-3-1-59-67>

Estimation of plastic waste accumulation in the Arctic

Aleksandr N. Chusov¹, , Valery M. Abramov²

¹Peter the Great Saint Petersburg Polytechnical University, Saint Petersburg, Russia

²Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint Petersburg, Russia

 chusov_an@spbstu.ru

Abstract. Sources responsible for pollution of the Arctic by plastic waste are considered. Approaches to plastic waste management are proposed. The spatial distribution of plastic waste is analyzed. Conclusions on the specific features of mass transfer of plastic and microplastics are drawn. A program for involving the local population in monitoring microplastic pollution is proposed.

Keywords: plastic debris, microplastics, plastic mass transfer, plastic pollution monitoring

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

For citation: Chusov A.N. Abramov V.M. Estimation of plastic waste accumulation in the Arctic. *Arctic and Innovation*. 2025;3(1):59–67. <https://doi.org/10.21443/3034-1434-2025-3-1-59-67>

Большинство оценочных характеристик загрязнения пластиком Арктики исходят из относительно низкого уровня заселенности территорий. Действительно, материковые зоны характеризуются очень низкой плотностью населения, проживающего на них. Значительная часть пластиковых потоков, поступающих в Арктическую зону, происходит в основном из Северной Атлантики и северной части Тихого океана. Реки, впадающие в Северный Ледовитый океан (в особенности с территории Российской Федерации), также являются загрязнителями микропластиком Арктики. Перенос пластиковых загрязнителей в Арктику в значительной степени регулируется процессами, вызванными крупномасштабными океанскими течениями, а также мелкомасштабными местными явлениями, такими как несанкционированные свалки мусора и дрейф морского льда.

Для разработки эффективных схем управления потоками микропластика и его нейтрализации важно различать источники его поступления в Арктическую зону (рис. 1). В настоящее время принято различать наземные и морские источники как местного, так и отдаленного происхождения. Например, брошенные, утерянные или иным образом выброшенные орудия промыслового лова являются основным источником пластикового мусора в Гренландском, Норвежском и Баренцевом морях, Карском

море и субарктической части Северной Атлантики и северной части Тихого океана.

Как показали международные экспедиционные исследования [1–6], волокна или нити рыболовных сетей были наиболее многочисленными источниками микропластика в Баренцевом море и вторым по распространенности видом микропластика на юго-западе Гренландии. Примечательно, что 80–90 % пластиковых элементов рыболовных сетей, найденных на о. Шпицберген, были умышленно выброшены рыбаками после починки сетей [7–9]. Большая часть изученного пластикового материала обладает положительной плавучестью, поэтому он дрейфует и выбрасывается на побережье по ходу существующих в арктической зоне течений. Некоторые фрагменты пластика и микропластика поступают из культивирующейся в ряде регионов аквакультуры. Тем не менее, в настоящее время трудно провести различие между источниками поступления микропластика от таких отраслей хозяйствования, как рыболовство и выращивание аквакультуры.

Важным источником поступления пластика в морскую среду является также мусор от бытовых источников, о чем свидетельствуют сообщения о больших скоплениях пластиковых бутылок, контейнеров, полиэтиленовых пакетов и тканях в застойных зонах береговой зоны.

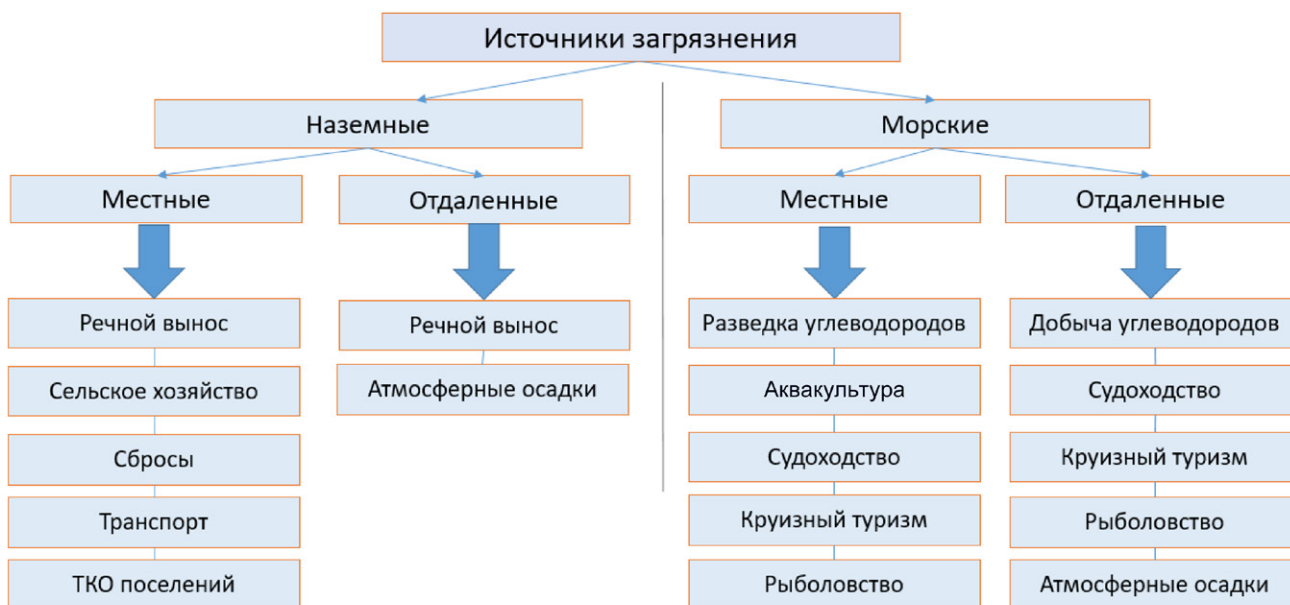


Рис. 1. Происхождение морского пластикового мусора

Fig. 1. Origin of marine plastic debris

В ближайшие годы и в перспективе в связи с климатическими изменениями движение судов в Арктике будет увеличиваться по мере открытия новых и более быстрых трансарктических маршрутов, а судоходный сезон будет расширяться по мере сокращения морского льда, что потенциально приведет к увеличению локальных поступлений пластиковых отходов.

В то же время одной из основных проблем, препятствующих минимизации поступления отходов с суши в океан во всем мире, является отсутствие надлежащих систем обращения с отходами в прибрежных районах.

Практически повсеместно в поселениях по всей арктической зоне традиционными решениями по обращению с отходами явля-

ются свалки и несанкционированные свалки, зачастую рядом с морем, а также характерные для западного полушария простые мусоросжигательные заводы с отсутствующей или ограниченной очисткой дымовых газов (например, в Гренландии и Канаде) [10–14] и образованием залежей шлака.

Еще одним широко распространенным источником поступления микропластика в Арктику является его перенос океаническими и атмосферными течениями (рис. 2), а также биотой как из отдаленных, так и из местных источников образования. Такой микропластик переносится непосредственно, например в виде гранул и микрогранул, либо образуется в результате выветривания и деструкции более крупных пластиковых изделий.

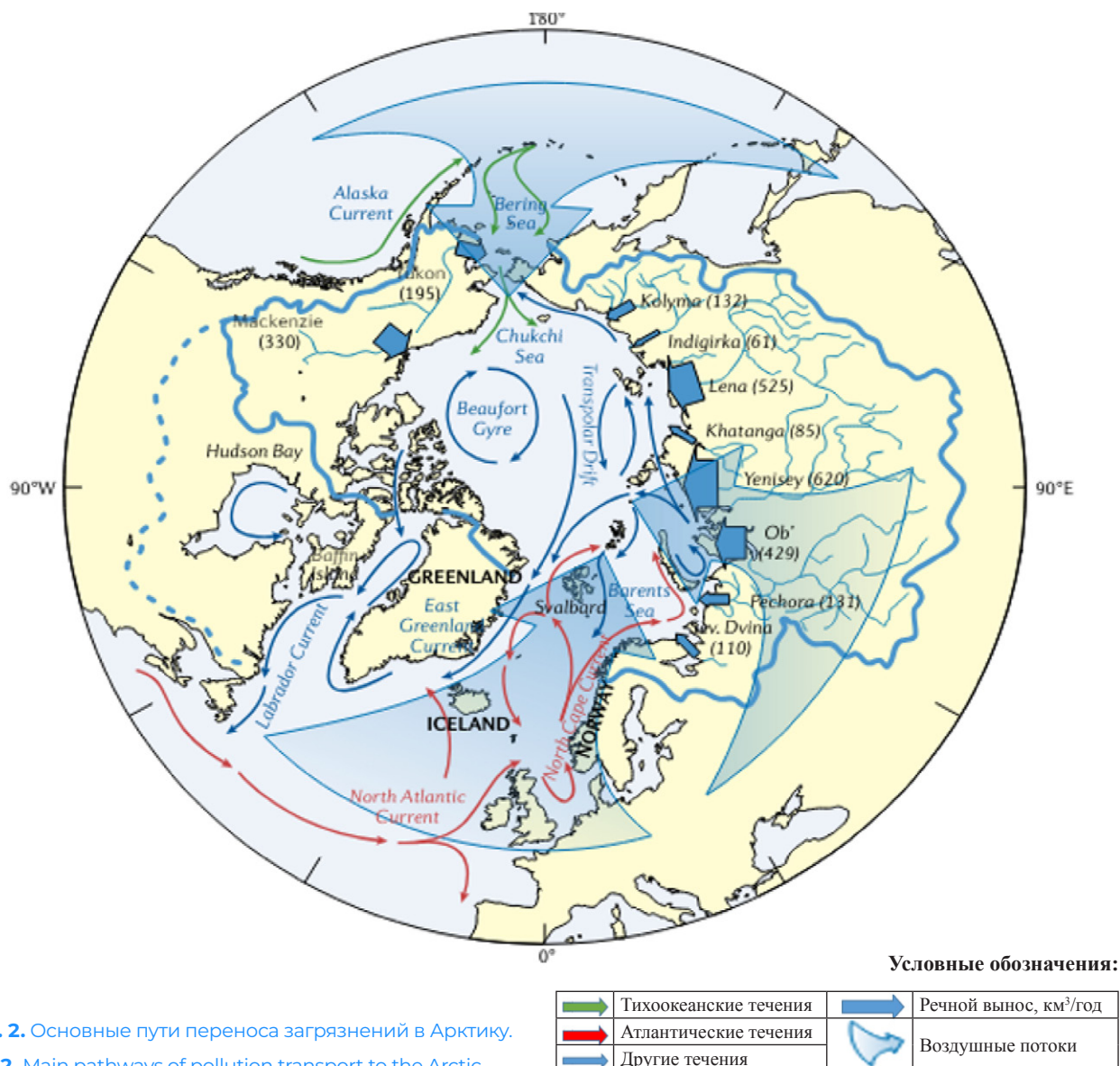


Рис. 2. Основные пути переноса загрязнений в Арктику.

Fig. 2. Main pathways of pollution transport to the Arctic.

Одним из местных источников поступления пластика и микропластика могут быть канализационные сточные воды непосредственно от объектов антропогенной деятельности, а также от сооружений очистки сточных вод, которые часто проходят только механическую очистку или не подвергаются полной санации. Так, например, при стирке синтетических тканей выделяется большое количество волокон микропластика. Такие ткани непропорционально сильно изнашиваются в холодных полярных регионах и могут после стирки поступать в океан через недостаточно очищенные сточные воды. Местные сточные воды также могут быть одним из источников микропластика в бассейнах Баренцева и Белого морей.

К другим потенциальным, но ограниченным местным источникам микропластика относятся частицы, выделяемые судовой краской во время навигации, самоскользящими различных транспортных средств, используемыми на льду, а также сточные воды, выбрасываемые все увеличивающимся количеством судов, работающих в районе Арктики [15–19].

Что касается массопереноса пластика и микропластика в арктической зоне, то можно сделать следующие выводы. Продолжительное отсутствие света, низкие температуры и стабильные условия приводят к тому, что темпы разложения пластиковых отходов особенно низки в придонных глубоководных зонах, о чем свидетельствует 30-летний пластик, извлеченный из Японского моря без каких-либо признаков износа [19–22]. Придонные течения могут переносить микропластик с морского дна в области накопления, которые также могут являться зонами биоразнообразия. В глубоководных водах Арктики концентрация микропластика колеблется от 0 до 16041 частиц на кг донного (илового) осадка и является одной из самых высоких измеренных концентраций в мире. Атмосферный массоперенос микропластика также является важным транспортным путем, о чем свидетельствует присутствие микропластика в образцах снега со льдин в восточной части канадской Арктики, западной Арктике, на Шпицбергене, в проливе Фрамма и исландской ледяной шапке в диапазоне от 0 до 14 400 000 частиц на м³ [22–23].

Проглатывание и поглощение пластикового мусора морскими организмами не всегда приводит к прямому вреду, но оно созда-

ет потенциал для недоедания, внутренних травм, непроходимости желудочно-кишечного тракта, что вызывает голод или внутренние повреждения органов, которые возможно повлекут последующую смерть. Ряд морских беспозвоночных, таких как актинии, морские звезды, хрупкие звезды, креветки, крабы, моллюски, двусторчатые моллюски, бокоплавы и трубчатые черви также поглощают микропластик. Кроме того, пластик был обнаружен в арктических рыбах, таких как бычок (*Triglops nybelini*), сайда (*Boreogadus saida*), атлантическая треска (*Cadus morhua*) и гренландская акула (*Somniosus microcephalus*). Поскольку рыба является индикатором здоровья экосистемы, важным звеном в арктических пищевых цепочках и частью рациона человека, необходимы дальнейшие исследования загрязнения арктической рыбы пластиком и микропластиком (рис. 3).

В Арктическом регионе размножается более 51 вида морских птиц, среди которых широко распространено проглатывание пластика. Пластик был обнаружен в организмах 12 видов морских птиц российской Арктики. Так, например, 60 % гнезд чаек в заливе Чаун содержали пластик, вероятно, с близлежащих мусорных свалок.

Известно лишь несколько случаев проглатывания пластика арктическими млекопитающими, большинство из которых — киты, в том числе кашалоты (*Physeter macrocephalus*), белухи (*Delphinapterus leucas*), финвалы (*Balaenoptera physalus*), гренландские киты (*Balaena mysticetus*) и клюворылые киты Стейннегера (*Mesoplodon stejnegeri*).

Лишь немногие ластоногие (тюлени, морские львы, моржи) были исследованы в Арктическом регионе на предмет проглатывания ими пластика. В желудках кольчатой нерпы (*Phoca hispida*), бородатой нерпы (*Erignathus barbatus*) и обыкновенной нерпы (*Phoca vitulina*) не было обнаружено фрагментов пластика размером более 425 мкм. У гренландских тюленей (*Pagophilus groenlandicus*) в Гренландии также не было обнаружено пластиковых кусочков размером более 5 мм, но два пластиковых фрагмента были обнаружены у 20-дневного детеныша тюленя (*Cystophora cristata*) из Гренландского моря. 70 % фекалий моржей на Шпицбергене содержали микроволокна размером более 1 мкм.

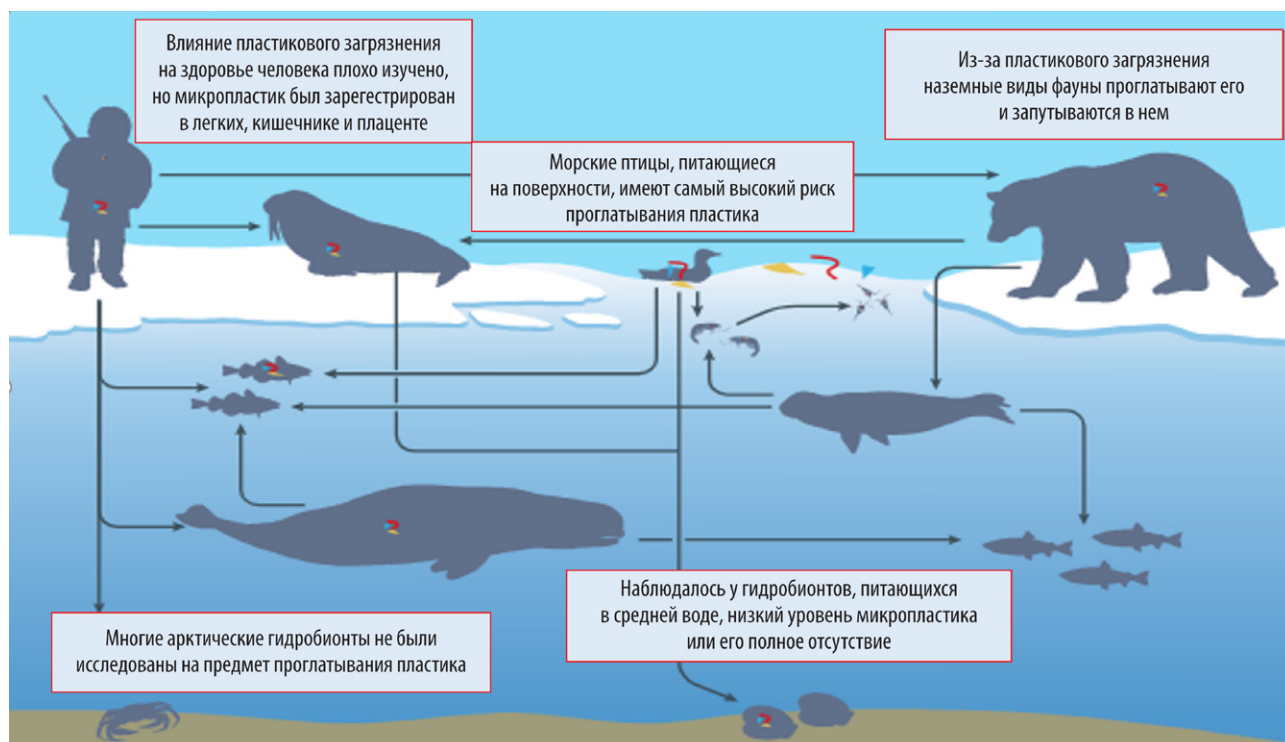


Рис. 3. Биотические взаимодействия в Арктике и пластиковые загрязнения

Fig. 3. Biotic interactions in the Arctic and plastic pollution

Несмотря на то, что имеющиеся в настоящее время данные свидетельствуют об относительно низком уровне потребления пластика морскими млекопитающими, в целом на основе имеющихся данных пока нельзя сделать однозначных выводов.

Существует большое количество работ, посвященных пластику как переносчику химических веществ, негативно влияющих на дикую природу.

Проблему изучения, распространения и минимизации пластиковых отходов в Арктической зоне РФ необходимо решать как на региональном, так и на международном уровнях. Загрязнение пластиком является следствием увеличения производства пластика в сочетании с ненадлежащим управлением отходами. В первую очередь, необходимо эффективное сокращение мирового производства пластиковых отходов на начальном этапе с помощью декларирования обязательных целей, установленных в международных договорах, таких как Парижское соглашение или Монреальский протокол.

Кроме того, необходимо декларировать замкнутый цикл использования пластика и внедрение устойчивых, биоразлагаемых,

альтернатив, а также совершенствование сбора и управления муниципальными отходами, чтобы минимизировать выбросы мусора в окружающую среду.

Ручная волонтерская очистка береговых линий, гаваней и берегов рек может смягчить загрязнение в том случае, если оценочные характеристики эмиссионных воздействий показывают, что выгоды от минимизации мусорных выбросов перевешивают экологические издержки, такие как снижение продуктивности и повышенная смертность биоты. Поступления отходов и загрязнения от морских источников напрямую приводят к загрязнению морской среды из-за прямых путей поступления.

Системы маркировки орудий лова могут предотвратить потерю и выброс орудий лова, а также стимулировать надлежащую утилизацию отходов. В Норвегии уже действуют программы по информированию компаний об утерянных орудиях лова и их восстановлению, которые должны быть распространены на другие регионы, как и системы утилизации орудий лова, которые в настоящее время практикуются в Исландии. В долгосрочной перспективе использование полностью биоразлагаемого материала для сетей

наряду с запретом на быстроизнашиваемые компоненты сетей, такие как канаты тележек, которые истираются во время прохода трала по морскому дну, может уменьшить утечку пластика и микропластика в окружающую среду. Просветительские кампании, предназначенные для рыбаков, например во время обязательных курсов по выживанию в море, также могут помочь изменить восприятие в рыболовной отрасли, которые должны сопровождаться внедрением хорошо организованных предприятий по переработке отходов на рыбных причалах и в портах, чтобы способствовать изменению поведения.

Утилизация пластика в Северном Ледовитом океане и прилегающих районах может быть сокращена за счет усовершенствования портовых приемных сооружений в соответствии с региональным планом приемных сооружений, как это в настоящее время осуществляется в рамках Международной морской организации в Тихоокеанском регионе. Более низкие портовые сборы для судов с улучшенными возможностями для утилизации отходов на борту, система «без специальных сборов», аналогичная HELCOM, и портовые центры переработки могут помочь уменьшить незаконный сброс отходов в море.

С учетом того, что судоходство в Арктике уже увеличилось и будет расти в дальнейшем из-за таяния морских льдов, этот сектор заслуживает особого внимания, в том числе за счет совершенствования систем мониторинга. Во многих местах по всей Арктической зоне до сих пор используются открытые свалки, и очевидно, что инвестиции в местные системы по утилизации отходов уменьшат утечку пластиковых загрязнений в окружающую среду. Отдельные поселения в Арктике, которые хотят иметь эффективные системы сбора и управления отходами, нуждаются в финансовой и материально-технической поддержке, например в виде схем расширенной ответственности производителей или правительств для создания или улучшения управления отходами и их переработкой. Важно отметить, что в сочетании с программами мониторинга на уровне поселков городского типа источники и эффективность изменений в регуляторной политике могут быть выявлены на местном уровне относительно быстро. Научные исследования и инвестиции в управление отходами должны стать приоритетом, что-

бы остановить поток пластика из различных источников, поступающих в Арктическую зону. Сокращение же выбросов из диффузных источников является необходимым, но довольно сложным процессом. Оптимизация конструкционных материалов может уменьшить выбросы от истирания автомобильных шин и тормозных колодок, которые являются одним из наиболее важных источников микропластика во всем мире, а также от судовой краски с ледокольных судов. Оптимизированные системы сбора дорожных стоков также могут смягчить некоторые последствия загрязнений. Введение новых законодательных правил, направленных на совершенствование очистки сточных вод на материке, в море и на судах, могут помочь сократить эмиссии пластиковых микроволокон в окружающую среду.

В Российской Федерации разработана специальная программа, позволяющая осуществлять мониторинг со стороны местных школьников и студентов. Такие программы дополняют профессиональную науку и должны быть расширены для восполнения пробелов в знаниях. Помимо сложностей, возникающих при проведении полевых работ в Арктике, в настоящее время не хватает стандартизированных методик отбора проб и анализа, а также методологических процедур, особенно в отношении исследований микропластика и нанопластика. Отсутствие единой стандартизации вызывает беспокойство, поскольку различные аналитические подходы могут привести к различиям в получаемых результатах на несколько порядков. Поэтому, несмотря на всплеск исследований пластикового мусора в Арктике, результаты часто несопоставимы между различными исследованиями, что затрудняет описание источников возникновения микро- и нанопластика, его поглотителей, а также разработку крупномасштабных имитационных моделей распределения загрязнения пластиком в Арктике.

Нанопластик в Арктике практически не исследован, в том числе его распределение по различным экосистемам, в особенности его взаимодействие с микропластиком при образовании и таянии морского льда. Можно предположить, что нанопластик взаимодействует с морским льдом так же, как, например, соль, и отторгается из ледяной матрицы по мере образования морского льда. Данные о нанопластике особенно

важны, поскольку частицы такой размерной фракции могут проходить через биологические мембраны и, таким образом, перемещаться в органы живых организмов, где они могут вызывать негативную биологическую реакцию.

Количество пластикового мусора, попадающего в Северный Ледовитый океан посредством речного стока, в настоящее время неясно, но может быть важным из-за огромных водосборных бассейнов рек, лежащих за пределами арктических границ. К тому же, большая часть рек Российской Федерации

проходит через большие города и крупные агломерации. Арктические реки являются важнейшим каналом загрязнения окружающей среды пластиковыми отходами с суши в океан, и их массовый сброс каждую весну или лето делает воздействие потенциально значимым. Учитывая, что вдоль этих водных путей проживает более 37 миллионов человек, понимание загрязнения пластиком рек, впадающих в Северный Ледовитый океан, имеет решающее значение (рис. 4).

Распространение и воздействие микропластика в арктической пищевой сети, которая

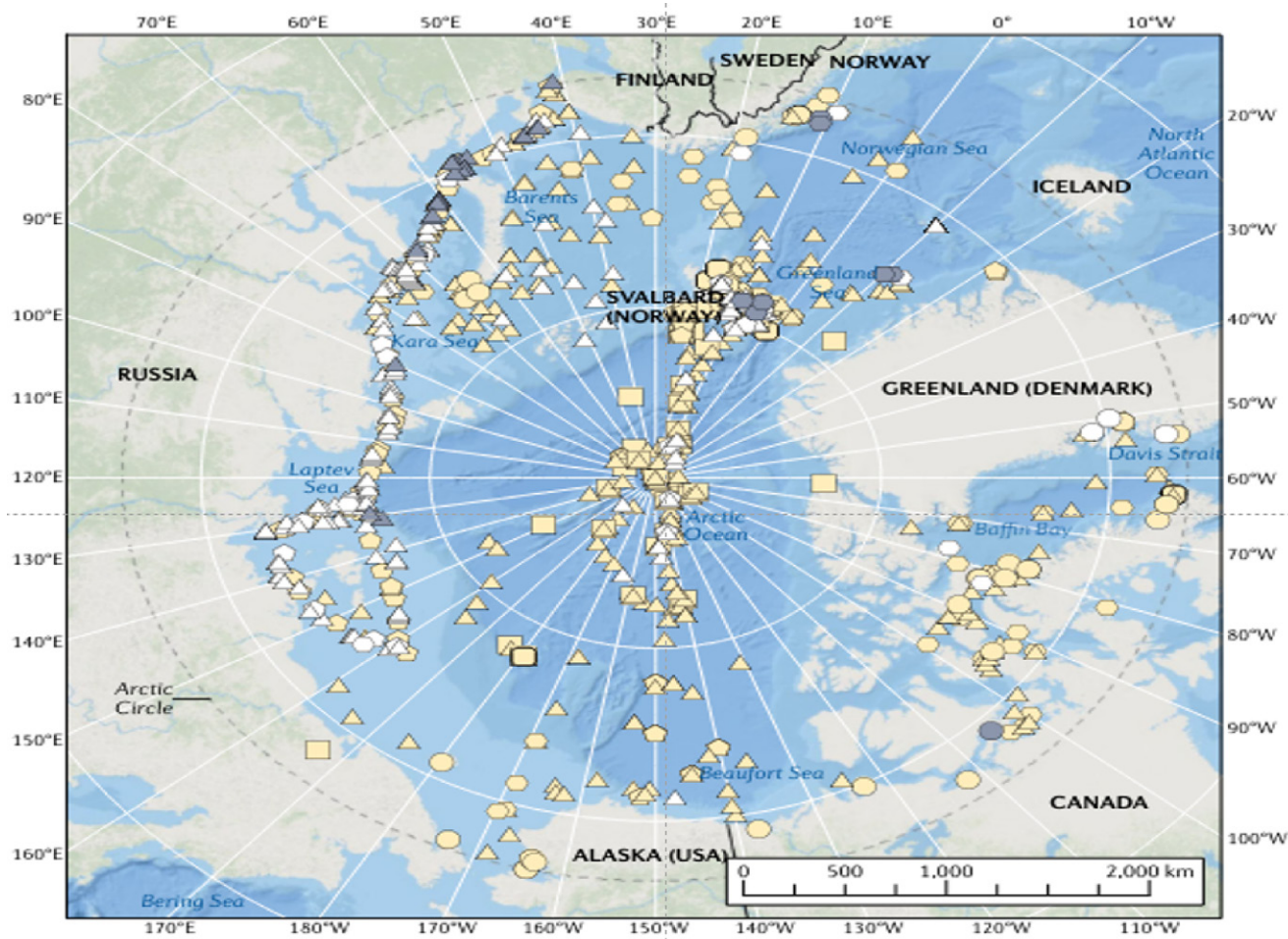


Рис. 4. Пластиковое загрязнение различных экосистем Арктики (Данные по результатам 62 исследований, представленных в Litterbase (www.litterbase.org) 2021 г.

Fig. 4. Plastic pollution in different Arctic ecosystems (data from 62 studies presented in Litterbase (www.litterbase.org), 2021

Условные обозначения:

Знак	Объект	Знак	Объект	Знак	Объект	Знак	Объект	Знак	Объект
	Поверхность океана		Морской лед		Побережье		Пелагическая зона океана		Морское дно
	Загрязнения пластиком		Загрязнения (без пластика)		Загрязнений не обнаружено				

уже находится под давлением быстрого климатического воздействия, является еще одним источником серьезной неопределенности. Необходима целенаправленная работа по изучению загрязнения пластиком по всей пищевой цепи, чтобы понять, где накапливается загрязнение пластиком и как оно влияет на биоту. Несмотря на то, что до сих пор исследования были сосредоточены на отдельных биологических видах, в будущих исследованиях следует использовать экосистемный подход с отбором проб биоты на всех трофических уровнях и по отношению к экологическим нишам, где проходят пищевые цепочки.

Выводы

1. Широко распространенное загрязнение пластиком в Арктике происходит как из местных, так и из отдаленных источников.

2. Концентрация пластика в Арктике варьируется в широких пределах, с большим накоплением в определенных точках, но в целом аналогична концентрациям в более густонаселенных регионах.

3. Пластик проник на все уровни пищевой цепи Арктики, включая многие эндемичные виды, с практически неизвестным воздействием на организмы.

4. В быстро меняющейся Арктике загрязнение пластиком усугубляет последствия изменения климата с точки зрения источников воздействия, транспортных процессов, обратных связей и экологических последствий.

5. Для предотвращения дальнейшей деградации экосистем необходимы меры по смягчению последствий как локального, так и отдаленного загрязнения пластиком.

Литература

1. Borrelle, S. B. et al. Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science* 369, 1515–1518 (2020).
2. Brahney, J. et al. Constraining the atmospheric limb of the plastic cycle. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 118, e2020719118 (2021).
3. MacLeod, M., Arp, H. P. H., Tekman, M. B. & Jahnke, A. The global threat from plastic pollution. *Science* 373, 61–65 (2021).
4. Lima, A. R. A. et al. Global patterns for the spatial distribution of floating microfibers: Arctic Ocean as a potential accumulation zone. *J. Hazard. Mater.* 403, 123796 (2021).
5. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). AMAP litter and microplastics monitoring guidelines. Version 1.0, 257 pp (AMAP, 2021).
6. Baak, J. et al. Plastic ingestion by seabirds in the circumpolar Arctic: a review. *Environ. Rev.* 28, 506–516 (2020).
7. Eriksen, M. et al. Mitigation strategies to reverse the rising trend of plastics in Polar Regions. *Environ. Int.* 139, 105704 (2020).
8. Kim, S.-K. et al. Importance of seasonal sea ice in the western Arctic ocean to the Arctic and global microplastic budgets. *J. Hazard. Mater.* 418, 125971 (2021).
9. Yakushev, E. et al. Microplastics distribution in the Eurasian Arctic is affected by Atlantic waters and Siberian rivers. *Commun. Earth Environ.* 2, 23 (2021).
10. Gavrilov, M. Plastic pollution and seabirds in the Russian Arctic (Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF), 2019).
11. Benzik, A. N., Orlov, A. M. & Novikov, M. A. Marine seabird litter in Siberian Arctic: A first attempt to assess. *Mar. Pollut. Bull.* 172, 112836 (2021).
12. Tošić, T. N., Vrugink, M. & Vesman, A. Microplastics quantification in surface waters of the Barents, Kara and White Seas. *Mar. Pollut. Bull.* 161, 111745 (2020).
13. Ivanova, L., Sokolov, K. & Kharitonova, G. Plastic pollution tendencies of the Barents Sea and adjacent waters under the climate change. *Arct. North* 32, 121–145 (2018).
14. Ershova, A., Makeeva, I., Malgina, E., Sobolev, N. and Smolokurov, A. Combining citizen and conventional science for microplastics monitoring in the White Sea basin (Russian Arctic). *Mar. Pollut. Bull.* 173, 112955 (2021).
15. Rist, S. et al. Quantification of plankton-sized microplastics in a productive coastal Arctic marine ecosystem. *Environ. Pollut.* 266, 115248 (2020).

16. Pogojeva, M. et al. Distribution of floating marine macro- litter in relation to oceanographic characteristics in the Russian Arctic Seas. *Mar. Pollut. Bull.* 166, 112201 (2021).
17. Ross, P. S. et al. Pervasive distribution of polyester fibres in the Arctic Ocean is driven by Atlantic inputs. *Nat. Commun.* 12, 106 (2021).
18. Hoffmann, L., Eggers, S. L., Allhusen, E., Katlein, C. and Peeken, I. Interactions between the ice algae *Fragillariopsis cylindrus* and microplastics in sea ice. *Environ. Int.* 139, 105697 (2020).
19. Lau, W. W. Y. et al. Evaluating scenarios toward zero plastic pollution. *Science* 369, 1455–1461 (2020).
20. Skimming the surface: using seabirds to monitor plastic in the Arctic (Conservation of Arctic Flora and Fauna, 2020).
21. Melvin, J., Bury, M., Ammendolia, J., Mather, C. and Liboiron, M. Critical gaps in shoreline plastics pollution research. *Front. Mar. Sci.* 8, 845 (2021).
22. Materić, D. et al. Nanoplastics measurements in Northern and Southern polar ice. *Environ. Res.* 208, 112741 (2022).
23. Allen, D. et al. Micro- and nanoplastics in the marine– atmosphere environment. *Nat. Rev. Earth Environ.* <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00292-x> (2022).

Сведения об авторах

Чусов Александр Николаевич — кандидат технических наук, доцент, доцент, Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург.
195220, г. Санкт-Петербург, пр. Непокоренных д. 16, корп.1, кв.86
ORCID 0000-0002-1388-8649,
Web of Sciences ID: M-6874-2014,
ID Scopus 57190860772,
ID РИНЦ 161099,
SPIN-код 6582-8074
тел.: +7 (921) 940-09-25
e-mail: chusov17@mail.ru, chusov_an@spbstu.ru

Абрамов Валерий Михайлович — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия
195220, Санкт-Петербург, пр. Энтузиастов дом 54, корп.1, кв.54
ORCID 0000-0003-0554-5790,
ID WoS N-2789-2013,
ID Scopus 27067575000,
ID РИНЦ 739654,
SPIN-код 2519-8720;
тел.: +7 (903) 092-47-74
e-mail: val.abramov@mail.ru, abramovvm@gumrf.ru

Information about the authors

Aleksandr N. Chusov — Cand. of Sci. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnical University, Saint Petersburg, Russia
195220, Saint Petersburg, Nepokorennikh ave., 16, 1, 86
ORCID: 0000-0002-1388-8649
ID WoS: M-6874-2014
Scopus ID: 57190860772
RSCI ID: 161099
SPIN-code 6582-8074
tel.: +7 (921) 940-09-25
e-mail: chusov17@mail.ru, chusov_an@spbstu.ru

Valery M. Abramov — Cand. of Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, Associate Professor, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, Saint Petersburg, Russia
54 Entuziastov Ave., building 1, block 54,
195220, Saint Petersburg
ORCID: 0000-0003-0554-5790
ID WoS: N-2789-2013
ID Scopus: 27067575000
RSCI ID: 739654
SPIN-code: 2519-8720
tel.: +7 (903) 092-47-74
e-mail: val.abramov@mail.ru, abramovvm@gumrf.ru

Вклад авторов

Чусов Александр Николаевич — существенный вклад в разработку концепции и дизайна работы.
Абрамов Валерий Михайлович — окончательная доработка версии работы, которая будет направлена на рассмотрение возможности опубликования.

Authors' contribution

Aleksandr N. Chusov — significant contribution to the development of the concept and design of the work.
Valery M. Abramov — the final revision of the version of the work, which will be sent for consideration of the possibility of publication.