

## ОБЗОРЫ И СООБЩЕНИЯ REVIEWS AND REPORTS

Арктика и Север. 2022. № 47. С. 260–267.

Научная статья

УДК 504.5(985)(045)

doi: 10.37482/issn2221-2698.2022.260

### Воздействие прибрежного мусора на биологические ресурсы арктических морей \*

**Авдонина Наталья Сергеевна**<sup>1</sup>, кандидат политических наук, доцент  
**Соболев Никита Андреевич**<sup>2</sup>✉, кандидат химических наук

<sup>1</sup> Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Набережная Северной Двины, 17, Архангельск, 163002, Россия

<sup>2</sup> Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, стр. 3, Москва, 119991, Россия

<sup>1</sup> n.avdonina@narfu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9871-3452>

<sup>2</sup> n.a.sobolev@outlook.com ✉, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8210-8263>

**Аннотация.** В настоящей работе обсуждается влияние пластикового мусора на Арктические водные экосистемы с основным фокусом на рыбу. Загрязнение прибрежных и морских экосистем пластиковым мусором стало одной из наиболее важных глобальных экологических проблем в конце 90х гг. XX в., когда стало очевидно, что пластиковый мусор является значимой угрозой для водных экосистем. Однако в последние годы основное внимание учёных приковано к микропластику (МП) как новой и существенной угрозе для водных экосистем. В связи с тем, что рыба является одним из основных продуктов питания населения Арктических стран, негативное влияние морского пластикового мусора на водные экосистемы приобретает угрожающий характер для здоровья и благополучия населения Арктики, а также экономики Арктических стран. Недавние исследования показали, что в 90% исследуемых проб воды из Баренцева моря был обнаружен микропластик. Это показывает, что МП стал одним из основных поллютантов Арктических морей. Тем не менее, на сегодняшний день существует относительно мало исследований, посвящённых оценке негативного влияния микропластика на жизнедеятельность морских организмов. Более того, существует также проблема отсутствия стандартизированных и общепринятых методик анализа МП и оценки негативных эффектов его воздействия на водные организмы. В связи с вышесказанным в настоящей работе приводится описание текущего состояния данной проблемы.

**Ключевые слова:** *пластиковый мусор, микропластик, водные экосистемы, Арктика, морской мусор, экологические проблемы в Арктике*

### Seashore Litters Impact on Biological Resources of Arctic Seas

**Natalia S. Avdonina**<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Polit.), Associate Professor

**Nikita A. Sobolev**<sup>2</sup>✉, Cand. Sci. (Chem.)

\* © Авдонина Н.С., Соболев Н.А., 2022

Для цитирования: Авдонина Н.С., Соболев Н.А. Воздействие прибрежного мусора на биологические ресурсы арктических морей // Арктика и Север. 2022. № 47. С. 260–267. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2022.47.260

For citation: Avdonina N.S., Sobolev N.A. Seashore Litters Impact on Biological Resources of Arctic Seas. *Arktika i Sever* [Arctic and North], 2022, no. 47, pp. 260–267. DOI: 10.37482/issn2221-2698.2022.47.260

<sup>1</sup> Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Nab. Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Leninskiye Gory, 1-3, Moscow, 119991, Russia

<sup>1</sup> n.avdonina@narfu.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9871-3452>

<sup>2</sup> n.a.sobolev@outlook.com ✉, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8210-8263>

**Abstract.** In the present manuscript, the impact of seashore plastic litter on the Arctic aquatic environment with a primary focus on fish is discussed. Plastic pollution of seashore and aquatic ecosystem became a major environmental problem in the late 1990s, when it was considered as a major threat for aquatic ecosystem. In recent years, the microplastic (MP) pollution has raised scientific attention and awareness as severe threat for aquatic ecosystem. Since fish is a significant source of food and wealth of Arctic countries, the shrinkage of fishing rates caused by aquatic ecosystems plastic pollution can lead to a significant negative effect on the well-being of the Arctic countries' population and economy. Recent studies showed significant amount of MP in Arctic seas. The MP particles were found in more than 90% of the studied water samples from the Barents Sea. This indicates that MP has become a major threat for aquatic life in the Arctic. Despite the fact the MP may pose harmful effects to aquatic life, there is still a lack of valid information concerning this research. Moreover, standard and generally accepted protocols for MP pollution monitoring and risk assessment need to be implemented. In view of the above, the current state of the problem is described in this paper.

**Keywords:** *plastic pollution, microplastic, aquatic ecosystem, Arctic, marine litter, Arctic environmental problem*

### **Благодарности и финансирование**

Проект № 203173 Barents 2030, «Обучение руководителей Баренцева региона по вопросам морского мусора», грантополучатель – Северный (Арктический) федеральный университет (САФУ). Настоящая статья подготовлена в рамках проекта «Лидерство Баренцева моря по морскому мусору», поддерживаемого Министерством климата и окружающей среды Норвегии. Партнёрами проекта являются GRID-Арендал, Северный (Арктический) федеральный университет (САФУ), Кольский научный центр, ЮНЕП, Открытый университет, а также Университет Арктики и его Тематическая сеть по загрязнению Арктики пластиком.

### **Введение**

Водные биоресурсы, в частности — рыба, являются важным источником пищи для людей во всем мире. На их долю приходится около 15% потребления животного белка населением планеты, в то время как в бедных странах с дефицитом продовольствия это число возрастает до 25%<sup>1</sup>. Морская рыба также является одним из основных источников витаминов, незаменимых элементов и жирных кислот омега-3, которые отвечают за нормальное функционирование человеческого организма, дефицит которых в рационе может вызвать серьёзные проблемы со здоровьем. В ряде случаев введение в рацион или увеличение нормы потребления морской рыбы способствует восполнению необходимого количества потребляемых питательных веществ и существенному снижению дефицита микроэлементов у

---

<sup>1</sup> Fisheries and aquaculture – enabling a vital sector to contribute more <http://www.fao.org/news/story/en/item/150839/icode/> (дата обращения: 01.06.2021).

людей [1–3]. Адекватное потребление микронутриентов особенно актуально для населения, проживающего в арктических странах, где суровые климатические условия требуют от организма человека повышенных ресурсов для нормального функционирования.

Учитывая вышеизложенное, рыба является важным источником питания как для развивающихся, так и для развитых стран. По данным К. Обиеро [4], Арктический регион является одной из наиболее рыбозависимых частей мира, особенно страны Северной Европы и Россия.

Рыба также является значительным источником дохода для бюджетов приморских стран. Её экспорт составляет значительную долю ВВП некоторых арктических государств. Северо-Восточная Атлантика — один из важнейших промысловых районов Арктики, на долю которого приходится около 10% мирового улова рыбы. Баренцево море является доминирующим районом рыболовства в Северо-Восточной Атлантике и одним из самых продуктивных морей в мире. На три страны — Норвегию, Исландию и Россию — приходится 50% общего годового улова морепродуктов в Северо-Восточной Атлантике [5].

Антропогенное загрязнение может существенно повлиять на водную экосистему. Это приводит к сокращению производства морепродуктов во всём мире. Однако в Арктике это воздействие выражено гораздо значительнее из-за суровых условий, ограниченного биоразнообразия и относительно коротких пищевых сетей, что делает арктическую экосистему восприимчивой к антропогенному воздействию [6]. Поскольку рыболовство является важным источником продовольственного обеспечения и богатства арктических стран, сокращение объёмов промысла, вызванное антропогенным загрязнением акваторий и прибрежных территорий, может привести к существенному негативному воздействию на здоровье и благополучие населения и ВВП арктических стран.

Антропогенное загрязнение морского побережья является широко распространённой проблемой глобального уровня. Различные источники загрязнения могут по-разному воздействовать на водную экосистему. Основными загрязнителями морской прибрежной среды являются различные органические и неорганические вещества, которые попадают на морское побережье непосредственно с заводов и фабрик или за счёт стока в пресную или морскую воду, аварийных разливов загрязняющих веществ, с бытовыми сточными водами и т. д. Список этих загрязнителей достаточно велик. Однако большое внимание уделяется самым новым из них, таким как пестициды и агрохимикаты, бактерии сточных вод, токсичные и радиоактивные элементы, масла и другие новые органические соединения, такие как ПХБ, ПАУ, диоксины и т. д. Все эти загрязнители могут проникать в пищевую сеть Арктики, что наносит серьёзный ущерб гидробионтам, начиная с придонных уровней фито- и зоопланктона и заканчивая высшими хищниками, такими как треска, белый медведь и человек. Накопление и увеличение загрязняющих веществ в водных организмах влияет на их биораз-

нообразии, численности и репродуктивности [7]. Эти загрязнители изучаются десятилетиями, и их серьёзная угроза морской и пресноводной среде хорошо изучена и доказана.

С другой стороны, загрязнение морского побережья и водной экосистемы пластиком стало серьёзной экологической проблемой в конце 1990-х гг., когда оно рассматривалось как основная угроза для водной экосистемы, и проводилось большое количество исследований его влияния на морскую среду и здоровье морских экосистем [8]. В последние годы в исследованиях загрязнения пластиком сформировалась новая «ветвь» — оценка негативного воздействия на окружающую среду так называемых микропластиков (МП) (пластиковых частиц диаметром менее 5 мм). В настоящей аналитической работе будет рассмотрено влияние пластикового загрязнения на прибрежную экосистему арктических морей.

### **Обсуждение**

#### ***Исследования концентрации загрязнения пластиком поверхностных вод и экосистем арктического побережья***

Пластиковый мусор и МП попадают в арктические моря несколькими путями. Океанические течения переносят пластик из более промышленно развитых регионов, где производство, потребление и, как следствие, загрязнение гораздо шире, в менее антропогенно освоенный и населённый арктический регион. Загрязнение пластиком из местных источников, в частности, от рыболовства, также является одной из основных причин загрязнения в Арктике. Кроме того, недавно было установлено, что атмосферный перенос является источником МП в Арктике, где он выпадает из атмосферы и накапливается как в поверхностных водах, так и в осадках [9].

Воздействие пластикового загрязнения на водные экосистемы можно приблизительно оценить по анализу частиц и фрагментов, включая МП, в пробах поверхностных вод и донных отложений. В исследовании [10] авторы утверждали, что Северный Ледовитый океан является «тупиком» для дрейфующего пластика. Они охарактеризовали северо-восточный атлантический сектор океана как наиболее загрязнённую МП зону с преобладанием пластикового загрязнения в Баренцевом и Гренландском морях, где сосредоточено 95% всего пластика Северного Ледовитого океана. Концентрация пластика в европейской части Арктики в северо-восточной Атлантике и Северном Ледовитом океане относительно высока и находится на том же уровне, что и в более экономически развитых южных частях Атлантического океана. Исследования, проведённые на шельфе Гренландского моря, показали высокое содержание МП в пробах воды с его присутствием практически во всех обработанных пробах. Среднее значение частиц МП в этом секторе Арктики оказалось равным  $2,4 \pm 0,8$  ед./м<sup>3</sup> [11]. В части Баренцева моря на юге и юго-западе Шпицбергена в поверхностных и подповерхностных водах (на глубине 6 м) обнаружено соответственно  $0,34 \pm 0,31$  и  $2,68 \pm 2,95$  ед./м<sup>3</sup>. Частицы МП обнаружены более чем в 90% исследованных образцов

[12]. В российской части бассейна Северного Ледовитого океана в Баренцевом, Белом и Карском морях средняя концентрация МП в поверхностных водах составила 0,62 (0,19–6,42) ед./м<sup>3</sup> [13]. Концентрация МП в этих районах Северного Ледовитого океана находится на одном уровне с концентрациями МП во всем мире [14]. Тот факт, что практически во всех исследованных пробах были обнаружены частицы микропластика, свидетельствует о том, что загрязнение региона стало реальной экологической проблемой, способной повлиять на водную экосистему.

### ***Механизм негативного воздействия микропластика на биологические ресурсы***

Негативное воздействие МП на гидробионты описывается в литературе различными механизмами. Во-первых, это прямое воздействие приёма микропластика и физического повреждения организма или его нормального функционирования. В этих случаях попадание в организм МП приводит к закупорке желудочно-кишечного или респираторного тракта водных организмов, что приводит к их гибели [15]. Также были исследованы альтернативные механизмы воздействия МП. В исследовании [16] авторы обнаружили вызванное микропластиком снижение потребления пищи. Исследование, проведённое на видах бычков-бубырей обыкновенных, показало, что они потребляют больше полиэтиленовых микросфер, рассматриваемых в исследовании в качестве МП, чем реальной добычи (артемии), что может привести к снижению индивидуальной и популяционной приспособленности. Также сообщается, что хроническое воздействие МП привело к значительному снижению роста и воспроизводства видов рыб *Hyaella Azteca* [17]. Все эти эффекты могут негативно повлиять на популяцию водной экосистемы, что может привести к дефициту биоресурсов в Северном Ледовитом океане.

Другим механизмом негативного воздействия микропластика на морскую среду является сорбция загрязняющих веществ на поверхности и последующее попадание в живой организм. Недавние исследования показали способность МП накапливать стойкие органические загрязнители (СОЗ), соединения, нарушающие работу эндокринной системы, токсичные элементы, антибиотики и пестициды. В этом случае существует вероятность неблагоприятного воздействия как самого микропластика, так и загрязняющего вещества, которое им поглощается. Это может привести к различным негативным последствиям в зависимости от типа загрязняющего вещества, абсорбированного на поверхности, и его концентрации. В ряде исследований о воздействии СОЗ через микропластик сообщалось о генотоксическом и репродуктивном эффектах такого комбинированного загрязнителя [18].

Тем не менее, нет доказательств значительного воздействия МП на водные организмы и его влияния на популяцию и биоразнообразие в дикой природе. Таким образом, существует острая необходимость в проведении дополнительных исследований в этой области.

### **Концентрация микропластика в биоресурсах арктических морей**

По-прежнему не хватает информации о количестве пластикового мусора, потребляемого или попадающего в водные организмы в Арктическом регионе. Обзорная работа, опубликованная Collard and Ask в 2021 г. [19], показала, что наряду с ограниченностью данных о содержании МП в организмах морских животных существует также нестандартизированный подход к анализу микропластика в морской среде. Этот подход находит своё отражение в существенно отличающихся методологиях сбора и обработки образцов, а также в различных пороговых значениях размеров МП, которые влияют на количество и типы микропластика, которые могут быть определены в каждом исследовании.

В рамках имеющихся данных о количестве микропластика в морской рыбе, концентрации МП в промысловых видах рыб, в основном в треске, выловленной в Северной Атлантике и Северном Ледовитом океане, частота выявления микропластика в исследованиях значительно варьирует от 0 до 100%. Средняя частота идентификации составляет около 15% [19].

Ещё одним организмом, находящимся под влиянием загрязнения арктической экосистемы МП, являются морские птицы. Самый распространённый вид птиц — северный глупыш (*Fulmarus*). Больше всего данных по анализу морских птиц на концентрацию микропластика в их организмах, опубликованных в научных журналах, сделано в Канаде и на Аляске. Данных по европейским и особенно российским арктическим морским птицам не хватает. Всего у исследованных глупышей частота встречаемости микропластика в организме составила более 40% [19].

### **Выводы и предложения**

Отсутствие данных по анализу негативного воздействия микропластика на водную экосистему, так же как и фрагментарность исследований по концентрации МП в воде и морских организмах, а также нестандартизированные протоколы анализа и обработки проб свидетельствуют о недостаточности оценки антропогенного воздействия пластикового загрязнения на морскую экосистему Арктики. Лабораторные исследования чётко показали негативное воздействие проглатываемого пластика на морских животных и синергетический эффект от абсорбированных на его поверхности МП и СО<sub>2</sub>. Однако исследования в реальных условиях и расчёты для прогнозирования влияния загрязнения МП на экосистему не проводились. Это актуальная задача, которую необходимо решить для предотвращения негативных последствий и уменьшения этих воздействий на морскую среду за счёт государственного контроля и налогов.

Эти исследования не могут быть выполнены исследователями только одной научной области и должны проводиться в сотрудничестве учёных-экологов, океанологов, биологов, экономистов, политиков и т. д. Исходя из вышеперечисленных проблем, можно дать рекомендации для всех структур, которые будут или уже участвуют в этой сфере:



- для чёткого и точного расчёта загрязнения МП должны быть разработаны стандартизированные и простые в использовании и реализации на практике протоколы;
- лаборатории, участвующие в этих исследованиях, должны проводить внутрилабораторный контроль для оценки достоверности и воспроизводимости результатов, полученных по стандартизированному протоколу;
- прогнозирование мест переноса и накопления пластикового мусора должно осуществляться посредством сотрудничества учёных-экологов и океанологов для выявления «горячих точек» пластикового загрязнения в Арктике;
- необходимо провести исследования *in vitro* и *in vivo* негативных последствий проглатывания микропластика морской биотой для оценки рисков для здоровья и репродукции;
- на основе результатов оценки риска необходимо рассчитать экономические последствия, вызванные загрязнением МП, для установления налогов и штрафов, связанных с производством, утилизацией и выбросом макро- и микропластика;
- необходимо реализовать программы экологического образования для граждан и компаний;
- необходимо поддерживать экологические программы «гражданской науки» как для экологического образования, так и для снижения затрат на профессиональные научные программы в части сбора проб и выявления очагов загрязнения пластиком.

## References

1. Sobolev N., Aksenov A., Sorokina T. et. al. Iodine and Bromine in Fish Consumed by Indigenous Peoples of the Russian Arctic. *Scientific reports*, 2020, no. 10 (1), p. 5451. DOI: 10.1038/s41598-020-62242-1
2. Kwasek K., Thorne-Lyman A.L., Phillips M. Can Human Nutrition Be Improved Through Better Fish Feeding Practices? A review paper. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020, no. 60 (22), pp. 3822–3835. DOI:10.1080/10408398.2019.1708698
3. Roos N., Wahab M.A., Chamnan C., Thilsted S.H. The Role of Fish in Food-Based Strategies to Combat Vitamin A and Mineral Deficiencies in Developing Countries. *The journal of Nutrition*, 2007, no. 137 (4), pp. 1106–1109. DOI:10.1093/JN/137.4.1106
4. Obiero K., Meulenbroek P., Drexler S. et. al. The Contribution of Fish to Food and Nutrition Security in Eastern Africa: Emerging Trends and Future Outlooks. *Sustainability*, 2019, no. 11 (6), p. 1636. DOI: 10.3390/su11061636
5. Troell M., Eide A., Isaksen J., Hermansen Ø., Crépin A.S. Seafood from a Changing Arctic. *Ambio*, 2017, no. 46(3), pp. 368–386. DOI: 10.1007/s13280-017-0954-2
6. Carroll M.L., Carroll J. The Arctic Seas. In: *Biogeochemistry of Marine Systems*. Blackwell Publ., 2020, pp. 127–156. DOI: 10.1201/9780367812423-5
7. Islam M.S., Tanaka M. Impacts of Pollution on Coastal and Marine Ecosystems Including Coastal and Marine Fisheries and Approach for Management: A Reviewa Synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, no. 48 (7–8), pp. 624–649. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2003.12.004

8. Ryan P.G. A Brief History of Marine Litter Research. In: *Marine Anthropogenic Litter*. Ed. by M. Bergmann, L. Gutow, M. Klages. Springer, Cham. 2015, pp. 1–25. DOI: 10.1007/978-3-319-16510-3\_1
9. PAME. Desktop Study on Marine Litter Including Microplastics in the Arctic (May 2019), 118 p.
10. Cózar A., Martí E., Duarte C.M., García-de-Lomas J. et. al. The Arctic Ocean as a Dead End for Floating Plastics in the North Atlantic Branch of the Thermohaline Circulation. *Science advances*, 2017, no. 3 (4), e1600582.
11. Morgana S., Ghigliotti L., Estévez-Calvar N. et. al. Microplastics in the Arctic: A Case Study with Sub-Surface Water and Fish Samples off Northeast Greenland. *Environmental Pollution*, 2018, no. 242, pp. 1078–1086. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.08.001
12. Lusher A.L., Tirelli V., O'Connor I., Officer R. Microplastics in Arctic Polar Waters: The First Reported Values of Particles in Surface and Sub-Surface Samples. *Scientific Reports*, 2015, no. 5 (1), 14947. DOI: 10.1038/srep14947
13. Tošić T.N., Vrugink M., Vesman A. Microplastics Quantification in Surface Waters of the Barents, Kara and White Seas. *Marine Pollution Bulletin*, 2020, no. 161, p. 111745. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111745
14. Halsband C., Herzke D. Plastic Litter in the European Arctic: What do We Know? *Emerging Contaminants*, 2019, no. 5, pp. 308–318. DOI:10.1016/j.emcon.2019.11.001
15. Cole M., Lindeque P., Fileman E., Halsband C., Galloway T.S. The Impact of Polystyrene Microplastics on Feeding, Function and Fecundity in the Marine Copepod *Calanus helgolandicus*. *Environmental science & technology*, 2015, no. 49 (2), pp. 1130–1137. DOI: 10.1021/ES504525U
16. de Sá L.C., Luís L.G., Guilhermino L. Effects of Microplastics on Juveniles of the Common Goby (*Pomatoschistus microps*): Confusion with Prey, Reduction of the Predatory Performance and Efficiency, and Possible Influence of Developmental Conditions. *Environmental Pollution*, 2015, no. 196, pp. 359–362. DOI: 10.1016/j.envpol.2014.10.026
17. Au S.Y., Bruce T.F., Bridges W.C., Klaine S.J. Responses of *Hyaella azteca* to Acute and Chronic Microplastic Exposures. *Environmental toxicology and chemistry*, 2015, no. 34 (11), pp. 2564–2572. DOI: 10.1002/etc.3093
18. De Sá L.C., Oliveira M., Ribeiro F., Rocha T.L., Futter M.N. Studies of the Effects of Microplastics on Aquatic Organisms: What Do We Know and Where Should We Focus Our Efforts in the Future? *Science of the Total Environment*, 2018, no. 645, pp. 1029–1039. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.207
19. Ask A. Plastic Ingestion by Arctic Fauna: A Review. *Science of The Total Environment*, 2021, p. 147462. DOI: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.147462

Статья поступила в редакцию 08.12.2021; принята к публикации 16.03.2022.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.