

## СЕКЦИЯ: НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 504.4.054

**Кочнева Анастасия Андреевна**  
магистрант,  
**Никитина Мария Викторовна**  
кандидат химических наук  
**Северный (Арктический) Федеральный Университет**  
**(Архангельск, Россия)**

### АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ ПЛАСТИКОМ

**Аннотация.** Тема загрязнения арктических экосистем мусором в последнее время становится крайне актуальной. Нами рассмотрены научные исследования, посвященные загрязнению некоторых арктических морей пластиком. Результаты показывают, что морской мусор в основном состоит из полимерных материалов, а наиболее загрязненными арктическими морями являются Гренландское и Баренцево моря. Полимерный мусор в них поступает с течениями из Северной Атлантики и, аккумулируясь там, формирует шестое мусорное пятно. Некоторая часть пластиковых частиц попадает в Карское море и замерзает в его льдах. Наземные источники пластиковых частиц в этом регионе, вероятно вносят незначительный вклад.

**Ключевые слова:** пластик, микропластик, морской мусор, Арктика

*Kochneva Anastasia Andreevna*  
Master's student,  
*Nikitina Maria Victorovna*  
Candidate of Chemical Sciences  
Northern (Arctic) Federal University  
(Arkhangelsk, Russia)

### ANALYSIS OF PLASTIC POLLUTION INVESTIGATIONS IN THE ARCTIC SEAS

**Abstract.** *The marine litter pollution of Arctic ecosystems has become more relevant. We have reviewed scientific research on the plastic litter pollution of some Arctic seas. Research results show that marine litter mainly consists of polymeric materials. The most polluted Arctic seas are the Greenland and Barents Seas. Polymer particles enters them with currents from the North Atlantic and form in the Barents sea a sixth garbage patch. Some of the plastic particles enter the Kara Sea and freeze in ice. Terrestrial sources of plastic particles in this region probably make a negligible contribution.*

**Key words:** *plastic, microplastic, marine litter, Arctic*

Загрязнение пластиком является одной из наиболее быстро растущих угроз для морских экосистем. Ежегодно миллионы тонн отходов попадают в Мировой океан [1].

Для изучения состава и распространения морского мусора исследования проводятся на побережьях, в поверхностных и глубинных водах, в донных отложениях. Их результаты показывают, что морской мусор в основном состоит из полимерных материалов. В данной статье мы проанализировали исследования загрязнения арктических морей пластиком с целью выявления основных тенденций и сложностей оценки качества северных вод.

Негативное влияние морского мусора на морские экосистемы проявляется в нескольких аспектах – это запутывание и удушение морских организмов; распространение инвазивных видов, которыми обрастают пластики; попадание в организм фрагментов пластика; воздействие токсикантов и др. [1]. Отблески солнечных лучей на поверхности пластиковых отходов, их цвет, форма и запахи могут напоминать рыб, медуз и других организмов. Животные, принимая отходы за пищу, проглатывают их и погибают [2]. Это ведет к сокращению биоразнообразия и биологических ресурсов.

Под действием морской среды пластики распадаются на микрочастицы (микропластик), которые поглощаются морскими организмами и накапливаются в пищевых цепочках. Сами по себе полимеры биохимически инертны, однако пластмассы содержат низкомолекулярные добавки (такие токсиканты как бисфенол А, фталаты), которые могут выщелачиваться, оказывая негативное влияние на в окружающей среде. Кроме этого, микропластик способен адсорбировать загрязнители [1].

Уверенно можно говорить о том, что микропластик приводит к ингибированию усвоения пищи, а также внутренним и внешним повреждениям микроорганизмов [3]. В лабораторных условиях были сделаны выводы, что у ракообразных, моллюсков и полихет микропластики вызывают изменения в экспрессии генов, воспаления, нарушения пищевого поведения, снижение репродукции, снижение фильтрации и частоты дыхания [1].

Микропластики изменяют размер, плотность и скорость погружения планктонных пеллет. При исследовании влияния микропластика в экологически значимых концентрациях отмечается минимальное воздействие на биологический насос. Однако отмечается, что потенциально с увеличением концентрации микропластика в океане эффективность биологического насоса может снижаться, что окажет влияние на круговорот углерода в океане [4].

При употреблении морепродуктов микропластик может попадать в организм человека. Стоит отметить, что в современном мире человек постоянно находится под воздействием микропластиков, вдыхая его с воздухом и употребляя внутрь с напитками и едой. Поэтому довольно затруднительно выделить лишь эффекты от потребления морепродуктов. Однако в особой категории риска могут находиться коренные народы Арктики, основу рациона которых составляют морепродукты. Потенциально они могут подвергаться воздействию токсикантов, переносимых микропластиковыми [1]. Чтобы сделать уверенные выводы о воздействии микропластика на живые организмы, требуется больше надежных и инновационных экспериментов, потому что пока мониторинг микропластика остается сложной задачей.

Исследования морского мусора начались сравнительно недавно. В арктическом регионе подобные исследования довольно малочисленны и не регулярны. Однако даже

имеющиеся результаты помогают сделать первые выводы о распространении и источниках морского мусора.

С 2010 по 2016 года в Баренцевом море проводился крупномасштабный мониторинг морского мусора в рамках российско-норвежских исследований. Мусор исследовался в пелагических и донных тралах, а также регистрировался на поверхности методом наблюдений с палубы судна. Исследование состава мусора показало, что пластик преобладал в 72% наблюдений, 94% пелагических тралов и 86% донных тралов. Мусор из других материалов – металла, резины, пластика, бумаги и текстиля встречался sporadически. [5]

В 2019 году в ходе комплексной научно-исследовательской экспедиции на судне «Михаил Сомов» учет мусора проводился только наблюдениями с палубы. Для регистрации наблюдений использовалась методика института Joint Research Center с фиксацией единиц мусора в мобильном приложении «Floating Litter Monitoring», а также методика простого визуального учета с внесением единиц мусора на бумажный бланк. Учитывались объекты, которые способны различить наблюдатели, размером от 2,5 см. Анализ данных показал, что чаще всего наблюдателям встречался пластиковый мусор. Он составлял 65% и 67% от всего зафиксированного мусора первым и вторым методом соответственно. Реже встречалось обработанное дерево (12% и 2%), бумага и картон (6, 4%), не распознанные объекты и пятна мусора (по 3%), металл (алюминиевые банки, 2, 1%) и резина (2, 1%) [6].

В 2012 году с помощью компьютерного моделирования траекторий движений дрейфующих буев (Global Drifter Program) в Баренцевом море было обнаружено шестое мусорное пятно. Было отмечено, что трейсеры из Северной Атлантики двигаются в Баренцево море. Экспедиции подтвердили эти данные и установили, что наиболее загрязненными арктическими морями являются Гренландское и Баренцево моря [7].

Во 2013 года экспедиция «Тага» совершила кругосветное плавание по Северному Ледовитому океану от Гренландского до Лабрадорского моря. В ходе экспедиции с поверхности воды с помощью трала манта были собраны образцы пластикового мусора (микро и макропластик). Образцы были отобраны на 42 участках в Гренландском, Беренцевом, Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском, Чукотском и Бофорта морях, в Канадском архипелаге, Баффиновом заливе и Лабрадорском море. Большая часть исследованных поверхностных незамерзающих вод была свободна или незначительно загрязнена пластиковым мусором. Максимальные концентрации пластикового мусора были отмечены в Гренландском и Баренцевых морях, на которые пришлось 95% обнаруженной пластиковой нагрузки.

Полученные результаты сравнили с результатами исследований в Средиземном море. Размер арктического полимерного мусора оказался меньше средиземного (в основном обнаруженные частицы были меньше 12,5 см), и состоял по большей части из фрагментов жесткого пластика. В Средиземном море доля пленочных пластиковых фрагментов, таких как пакеты и упаковка, была выше. Из этого было сделано предположение о том, что арктический мусор поступает в этот регион издалека.

Измеряя соленость и температуру воды, исследователи сделали вывод, что полимерный мусор в Арктику поступает с течениями из Северной Атлантики. Когда теплые воды остывают и перемещаются вниз, вместе с ними на дно уходит и часть

пластикового мусора. Поэтому предполагается, что на дне находится еще много пластиковых отходов [8].

Эти выводы подтверждаются и результатами других экспедиций. В 2018 году в ходе экспедиции «Плавучий Университет 2018» было исследовано содержание микропластиковых частиц в Белом, Баренцевом и Карском морях. Пробы отбирались с поверхности воды с помощью трала манта. Наиболее загрязненным оказалось Баренцево море и некоторые участки Белого моря. Микропластик обнаружился во всех тралениях, диапазон результатов был от 28 тысяч до 963 тысяч частиц микропластика на квадратный километр. Эти результаты сопоставимы с наиболее загрязненными субтропическими зонами [9].

В 2020 году в ходе экспедиции на судне «Академик Мстислав Кельдиш» наличие макрочастиц пластика (более 2,5 см) исследовалось в Баренцевом, Карском, Лаптевых и Западно-Сибирское морях. Загрязнение фиксировалось визуально с палубы судна. Было установлено, что Восточная часть Карского моря, моря Лаптевых и Западно-Сибирское практически свободны от макромусора. Основные загрязнения были зафиксированы в поверхностных атлантических водах Баренцева моря [10].

Последующие моделирования показали, что в основном частицы пластика попадают в Арктику, а именно в Баренцево море, из Северной Атлантики через Норвежское море. Частицы пластика переносятся в Западную часть Карского моря, достигают районов образования льда и далее накапливаются в нем [11].

В опубликованном в 2020 году исследовании описывались результаты изучения проб воды и донных отложений на микропластик. Пробы были отобраны в 2016 году в обсерватории Хаусгартен, которая находится между Гренландией и Шпицбергенем. Пробы отбирались насосами большого объема методом фильтрации воды с поверхности, на глубине 300 м, 1000 м и над морским дном. Пробы донных отложений были отобраны многокамерным пробоотборником. Анализ проб показал наличие микропластика во всей толще арктической воды. Концентрация в донных отложениях оказалась в  $16 \times 10^3$  раз выше, чем в толще воды. В пробах донных отложений обнаружилось большее разнообразие полимеров. Это еще раз доказывает, что морское дно является накопителем микропластика.

Тип полимеров определялся методом инфракрасной спектроскопии Фурье для определения источника микропластика. Все пробы толщи воды показали высокое содержание этиленпропилендиенового каучука. Этот материал широко используется в кровлях, искусственных газонах и автомобильной промышленности. Модель траектории движения этих частиц указывает на их североатлантическое происхождение.

В приповерхностных образцах в Восточной Гренландии была обнаружена высокая концентрация этилвинилацетата. Смоделированные траектории указывали на арктическое происхождение этих частиц. Этот материал широко используется в таких продуктах, как краски, покрытия, безопасное стекло, упаковка, клеи и текстиль. [12]

Наземные источники микропластика в этом регионе вероятно вносят незначительный вклад в загрязнение арктических вод. Экспедиция «Академика Мстислава Кельдиша» не обнаружила пластикового мусора вблизи устьев сибирских рек: Оби, Енисея, Лены. Хотя отмечается, что это может быть связано с тем, что основной сток

из этих рек наблюдается в июне, тогда как экспедиция проводилась в сентябре-октябре. [10]

Однако, вероятно, источником загрязнения полуизолированного от притока атлантических вод Белого моря является сток Северной Двины. Наибольшая концентрация микропластиковых частиц была обнаружена на речном шлейфе. К западу от прямого влияния Северной Двины содержание микропластика было гораздо ниже. [9]

Таким образом, на данный момент данные как о плавающем, так и о прибрежном морском мусоре в Арктике недостаточны, и не позволяют комплексно оценить распространение и источники пластиковых отходов. Также отсутствует единая методика для исследований. Однако уже сейчас отмечается, что некоторые регионы Баренцева моря близки к тому, чтобы быть столь же загрязненными микропластиком, как и наиболее загрязненные субтропические зоны. Все более растущая антропогенная деятельность и освобождение Арктики ото льда будут увеличивать пластиковую нагрузку.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. J. McGlade, I. Fahim, D. Green, P. Landrigan, A. Andrady, M. Costa. From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution. [Электронный ресурс]: 2021. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/355467663\\_From\\_Pollution\\_to\\_Solution\\_A\\_Global\\_Assessment\\_of\\_Marine\\_Litter\\_and\\_Plastic\\_Pollution/stats](https://www.researchgate.net/publication/355467663_From_Pollution_to_Solution_A_Global_Assessment_of_Marine_Litter_and_Plastic_Pollution/stats) (дата обращения 23.12.2021).
2. S. Kühn, R. Brav, E. Rebolledo, J. Van Franeker. Deleterious Effects of Litter on Marine Life. [Электронный ресурс]: 2015. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/277637882\\_Deleterious\\_Effects\\_of\\_Litter\\_on\\_Marine\\_Life](https://www.researchgate.net/publication/277637882_Deleterious_Effects_of_Litter_on_Marine_Life) (дата обращения 23.12.2021).
3. V. Ruijter, P. Redondo-Hasselerharm, T. Gouin, A. Koelmans. Quality Criteria for Microplastic Effect Studies in the Context of Risk Assessment: A Critical Review. [Электронный ресурс]: 2020. – Режим доступа: <https://research.wur.nl/en/publications/quality-criteria-for-microplastic-effect-studies-in-the-context-of> (дата обращения 23.12.2021).
4. A. Wiczcerek, P. Croot, L. Fabien, J. Sheahan, T. Doyle. Microplastic Ingestion by Gelatinous Zooplankton May Lower Efficiency of the Biological Pump. Environmental Science & Technology. [Электронный ресурс]: 2019. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/332134494\\_Microplastic\\_Ingestion\\_by\\_Gelatinous\\_Zooplankton\\_May\\_Lower\\_Efficiency\\_of\\_the\\_Biological\\_Pump](https://www.researchgate.net/publication/332134494_Microplastic_Ingestion_by_Gelatinous_Zooplankton_May_Lower_Efficiency_of_the_Biological_Pump) (дата обращения 23.12.2021).
5. C. Pham, P. Rui, G. Vieira, B. Grøsvik, T. Prokhorova. Assessment of Marine Litter in the Barents Sea, a Part of the Joint Norwegian-Russian Ecosystem Survey. [Электронный ресурс]: 2018. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/323581023\\_Assessment\\_of\\_Marine\\_Litter\\_in\\_the\\_Barents\\_Sea\\_a\\_Part\\_of\\_the\\_Joint\\_Norwegian-Russian\\_Ecosystem\\_Survey](https://www.researchgate.net/publication/323581023_Assessment_of_Marine_Litter_in_the_Barents_Sea_a_Part_of_the_Joint_Norwegian-Russian_Ecosystem_Survey) (дата обращения 23.12.2021).

6. М. Погожева, Е. Якушев, П. Терский, Д. Глазов, В. Аляутдинов, А. Коршенко, Г. Ханке, И. Семилетов. (2021). Оценка загрязнения Барнецева моря плавающим морским мусором по данным судовых наблюдений в 2019 г. // Известия Томского политехнического университета, 2021, № 332, С. 87-96.
7. E. Seville, M. England, G. Froyland (2012). Origin, dynamics and evolution of ocean garbage patches from observed surface drifters. *Environmental Research Letters*. [Электронный ресурс]: 2012. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/234002610\\_Origin\\_dynamics\\_and\\_evolution\\_of\\_ocean\\_garbage\\_patches\\_from\\_observed\\_surface\\_drifters](https://www.researchgate.net/publication/234002610_Origin_dynamics_and_evolution_of_ocean_garbage_patches_from_observed_surface_drifters) (дата обращения 23.12.2021).
8. A. Cózar, E. Marti, C. Duarte, J. Lomas, E. Seville. The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the Thermohaline Circulation. *Science Advances*. [Электронный ресурс]: 2017. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/316328367\\_The\\_Arctic\\_Ocean\\_as\\_a\\_dead\\_end\\_for\\_floating\\_plastics\\_in\\_the\\_North\\_Atlantic\\_branch\\_of\\_the\\_Thermohaline\\_Circulation](https://www.researchgate.net/publication/316328367_The_Arctic_Ocean_as_a_dead_end_for_floating_plastics_in_the_North_Atlantic_branch_of_the_Thermohaline_Circulation) (дата обращения 23.12.2021).
9. T. Tosic, M. Vrugink, A. Vesma. Microplastics quantification in surface waters of the Barents, Kara and White Seas. *Marine Pollution Bulletin*. [Электронный ресурс]: 2020. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/344747885\\_Microplastics\\_quantification\\_in\\_surface\\_waters\\_of\\_the\\_Barents\\_Kara\\_and\\_White\\_Seas](https://www.researchgate.net/publication/344747885_Microplastics_quantification_in_surface_waters_of_the_Barents_Kara_and_White_Seas) (дата обращения 23.12.2021).
10. М. Pogojeva, I. Zhdanov, A. Berezina, A. Lapenkov, D. Kosmach Distribution of floating marine macro-litter in relation to oceanographic characteristics in the Russian Arctic Seas. *Marine Pollution Bulletin*. [Электронный ресурс]: 2021. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/350012051\\_Distribution\\_of\\_floating\\_marine\\_macro-litter\\_in\\_relation\\_to\\_oceanographic\\_characteristics\\_in\\_the\\_Russian\\_Arctic\\_Seas](https://www.researchgate.net/publication/350012051_Distribution_of_floating_marine_macro-litter_in_relation_to_oceanographic_characteristics_in_the_Russian_Arctic_Seas). (дата обращения 23.12.2021).
11. A. Mountford & M. Morales, A. Miguel. Modeling the Accumulation and Transport of Microplastics by Sea Ice. *Journal of Geophysical Research Oceans*. Режим доступа: 2021, [https://www.researchgate.net/publication/347971064\\_Modeling\\_the\\_Accumulation\\_and\\_Transport\\_of\\_Microplastics\\_by\\_Sea\\_Ice](https://www.researchgate.net/publication/347971064_Modeling_the_Accumulation_and_Transport_of_Microplastics_by_Sea_Ice). (дата обращения 23.12.2021).
12. M. Tekman, C. Wekerle, C. Lorenz, S. Primpke, C. Hasemann, G. Gerdt, M. Bergmann. Tying up Loose Ends of Microplastic Pollution in the Arctic: Distribution from the Sea Surface through the Water Column to Deep-Sea Sediments at the HAUSGARTEN Observatory. Режим доступа: 2020, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32142614/>. (дата обращения 23.12.2021).