

Научная статья

Original article

УДК 504.42.054(268.9)

doi: 10.55186/2413046X_2024_9_11_453

**СОСТАВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В МОРСКИХ ВОДАХ
АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ**
**THE COMPOSITION OF POLLUTING MATERIALS IN THE MARINE
WATERS OF THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA**



*Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» по прикладной научной теме №23 «Оценка загрязнения микропластиком морских и пресноводных экосистем в районах отечественного рыболовства»
регистрационный номер: 124052700058-0 (интернет-номер/регистрационный номер: 1023032000443-8/1023032000119-4).*

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Federal State Budgetary Budgetary Institution "VNIRO" on the applied scientific topic No.23 "Assessment of microplastic pollution of marine and freshwater ecosystems in areas of domestic fisheries" registration number: 124052700058-0 (Internet number/registration number: 1023032000443-8/1023032000119-4).

Педченко Андрей Петрович, кандидат географических наук (Океанология, Геоэкология), доцент, ведущий научный сотрудник, Государственный научный центр РФ, ФГБНУ «Всероссийский институт рыбного хозяйства и океанографии», Москва, E-mail: pedchenko@vniro.ru

Беляев Владимир Алексеевич, доктор биологических наук, профессор, советник директора, Государственный научный центр РФ, ФГБНУ «Всероссийский институт рыбного хозяйства и океанографии», Москва, E-mail: belyaev@vniro.ru

Блиновская Яна Юрьевна, доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, E-mail: blinovskaia.iaiu@dvfu.ru

Pedchenko Andrei Petrovich, Candidate of Geographical Sciences (Oceanology, Geoecology), Associate Professor, Leading Researcher of the Federal Research Institute of Fishery and Oceanography of the State Scientific Center of the Russian Federation, Moscow, pedchenko@vniro.ru

Belyaev Vladimir Alexeyevich, Doctor of Science (Biology), Professor, Advisor to the Director of the Russian Federal Research Institute of Fishery and Oceanography of the State Scientific Center of the Russian Federation, Moscow, E-mail: belyaev@vniro.ru

Blinovskaya Yana Yurievna, Doctor of Science (technical), Professor of the Far Eastern Federal University, Vladivostok, E-mail: blinovskaia.iaiu@dvfu.ru

Аннотация. Развитие Арктического региона РФ требует привлечения актуализированных данных о состоянии водных биоресурсов и среды их обитания для определения возможных экологических рисков и антропогенного воздействия на биотопы природных экосистем. Представлен анализ 99 проб, собранных сетью Манта 335 мкм для оценки загрязнения микропластиком поверхностных вод Арктических морей в ходе комплексных экспедиций ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» в 2019-2021 гг. Исследования в мористой и прибрежной частях шельфа Арктических морей и восточной части Баренцева моря не выявили существование локальных концентраций пластика и пластикового мусора в границах российской части Арктического региона. Показаны различия пластикового загрязнения водной поверхности в восточной части Баренцева моря, мористой и прибрежной части шельфа Арктических морей. Средняя концентрация пластика по всей акватории исследований 2019-2021 гг. составила 0,032 единиц пластика на м³, в восточной части Баренцева моря в 2021 г. – 0,040 ед./м³, в мористой части шельфа в 2019–2020 гг. – 0,026 ед./м³, в прибрежной части шельфа – 0,028

ед./м³. Исследования показали высокую встречаемость в пробах воды полиэтилена (PE), полипропилена (PP), полиэтилен низкого давления (LDPE), полиэтилен высокого давления (HDPE) и полистирола (PS), что согласуется с объёмами европейского производства наиболее распространённых видов полимеров. Количественные оценки содержания пластика в поверхностных водах Арктических морей можно условно принять за «начальные» или «нулевые» показатели на текущий момент, что актуально для обеспечения безопасности пищевой продукции из водных биологических ресурсов в Арктическом регионе.

Abstract. Updated data on the state of aquatic biological resources and their habitat to determine possible environmental risks and anthropogenic impacts on biotopes of natural ecosystems are essential for the development of the Russian Arctic. The article provides the analysis of 99 samples collected by the Manta network of 335 microns for the assessment of microplastic contamination of the surface waters of the Arctic Seas during complex surveys of the VNIRO in 2019-2021. The research in the offshore and coastal parts of the Arctic Sea shelf and the eastern part of the Barents Sea has not revealed the existence of local concentrations of plastic and plastic debris within the borders of the Russian part of the Arctic region. The differences in plastic pollution of the water surface in the eastern part of the Barents Sea, the marine and coastal parts of the Arctic Seas shelf are presented. The average concentration of plastic in the entire research area of 2019-2021 surveys was 0.032 plastic units per m³. In the eastern part of the Barents Sea in 2021, it amounted to 0.040 units/m³, in the offshore part of the shelf in 2019-2020, it reached 0.026 units/m³, in the coastal part of the shelf – 0.028 units/m³. The research demonstrated a high occurrence of polyethylene (PE), polypropylene (PP), low-pressure polyethylene (LDPE), high-pressure polyethylene (HDPE) and polystyrene (PS) in water samples, which is consistent with the volume of European production of the most common types of polymers. At the moment, quantitative estimates of plastic content in the surface waters of the

Arctic Seas can be conditionally taken as "initial" or "zero" indicators, that is vital for ensuring the safety of food products made of aquatic biological resources in the Arctic region.

Ключевые слова: микропластик, антропогенное загрязнение, промысловые биоресурсы, продовольственная безопасность, моря Российской Арктики

Keywords: microplastics, anthropogenic pollution, commercial biological resources, food security, Russian Arctic seas

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность специалистам научных групп и членам экипажей НИС «Профессор Леванидов», барка «Седов», НИС «Вильнюс» за помощь в сборе образцов микропластика. Мы также благодарим администрацию ДВФУ за организацию и проведение идентификации образцов микропластика, а также анонимных рецензентов, сделавших много ценных замечаний.

Thanks

The authors express their sincere gratitude to the specialists of the scientific groups and crew members of the R/V "Professor Levanidov", the barque "Sedov", R/V "Vilnius" for their assistance in collecting microplastic samples. We also thank the Far Eastern Federal University administration for organizing and conducting the identification of microplastic samples, as well as anonymous reviewers who made many valuable comments.

Введение. Развитие Арктического региона РФ, включая инфраструктуру Северного морского пути, имеет для нашей страны важное значение, с учётом разработанной Стратегии до 2035 года [11]. Решение экономических и экологических задач в рамках разработанной стратегии, затрагивают и рыбохозяйственный комплекс, который обеспечивает до 15 % вылова водных биоресурсов (более 150 арктических и субарктических видов рыб) и

производимой в РФ рыбной продукции [9]. Позиция России по сохранению Арктических экосистем нашла отражение в новой Климатической доктрине страны, разработанной министерством природных ресурсов и экологии России [12]. Она основывается на фундаментальных и прикладных научных знаниях в области климата и смежных областей, включая оценку естественных и антропогенных факторов, оказывающих влияние на климат, оценку степени защищенности (уязвимости) экосистем, и предполагает разработку и реализацию оперативных и долгосрочных мер по адаптации, смягчению антропогенного воздействия на климат. Необходимо отметить, что принимаемые решения тесно увязаны с важным направлением государственной политики - обеспечением продовольственной безопасности РФ [13], и предусматривают развитие агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов, а также совершенствование контроля в области обеспечения безопасности пищевой продукции для здоровья человека.

Современные исследования в морях Арктики [4, 15] выявили не только реакцию биотопов морей на климатические изменения, но и кратное и масштабное антропогенное воздействие на уязвимые морские экосистемы региона. Современным геоэкологическим вызовом стало значительное увеличение загрязнения вод морским мусором и микропластиком, которое может создать экологические угрозы для экосистем. Эксперты [14, 19, 21] рассматривают загрязнение вод микропластиком как глобальный процесс, что обусловлено: масштабным его распространением в Мировом океане; накоплением частиц и волокон, в результате деградации и фрагментации пластмассовых отходов в природной среде; возможным увеличением его поступления в морские экосистемы в связи с ожидаемым увеличением производства пластмасс; малой изученностью степени воздействия микропластика на окружающую среду.

Многочисленными исследованиями подтверждено наличие и расположение пяти зон накопления плавающего мусора и микропластика [14]. Широко обсуждается вопрос о путях поступления пластика в Арктический бассейн и направлениях его дрейфа. Высказано предположение [18, 25] о существовании локальных концентраций пластика и шестого мусорного пятна в Арктике.

Исследования показали, что пластиковый мусор и микропластик обнаружен в водах, донных отложениях, морских льдах Арктических морей, а также в организмах гидробионтов, включая рыб, обитающих в них [20, 22]. Это создает серьезную проблему в виду возможного проникновения микропластика в мышечную ткань рыбы, что повлияет на качество рыбной продукции и, соответственно, ее продовольственную безопасность [1]. Обеспокоенность общества этой проблемой наглядно иллюстрирует динамика количества научных публикаций о загрязнении морской среды и биоты микропластиком, которое ежегодно кратно увеличивается, начиная с 2015 г. [5] и сопоставимо с динамикой роста мирового производства микропластика [10]. Вместе с тем, отмечено [16, 23], что вопрос о степени загрязнения пластиком биотопов экосистем морей Арктики малоизучен, несмотря на значительное увеличение внимания к данной проблеме в последние годы. Также отсутствуют достоверные сведения о составе загрязняющих материалов Арктических морей, в том числе неорганического происхождения и микропластика.

Вышеперечисленные аспекты и возможные риски, связанные с увеличением пластикового загрязнения вод Арктики, и возрастающие, в связи с этим, потенциальные угрозы для морских экосистем, морских организмов и здоровья человека обусловили цели и задачи масштабных исследований ФГБНУ «ВНИРО», проводимых в последние годы. Представлены результаты исследования состава частиц загрязняющих материалов, обнаруженных в морских водах Арктической зоны России,

которые дополняют имеющиеся немногочисленные данные исследований микропластика по Арктическому региону.

Материалы и методы. В работе использованы материалы ФГБНУ «ВНИРО» по оценке загрязнения вод микропластиком, выполненные на акватории Арктических морей в 2019-2021 гг. Анализ состава загрязняющих материалов в пробах воды проведен по данным полевых наблюдений *in situ* по маршрутам Трансарктического перехода НИС «Профессор Леванидов» в августе-сентябре 2019 г. [6], Арктического перехода барка «Седов» по Северному морскому пути в августе-октябре 2020 г. [7], а также первой совместной съёмки микропластика, выполненной в ходе российско-норвежской экосистемной съёмки в Баренцевом море (BESS'2021) в августе-сентябре 2021 г. [8]. Исследования выполнены на всей акватории российской Арктической зоны в мористой и прибрежной частях шельфа. Положение станций отбора проб воды на содержание микропластика в Арктических морях в 2019 и 2020 гг. представлены на рисунке 1, в Баренцевом море в 2021 г. – на рисунке 2.

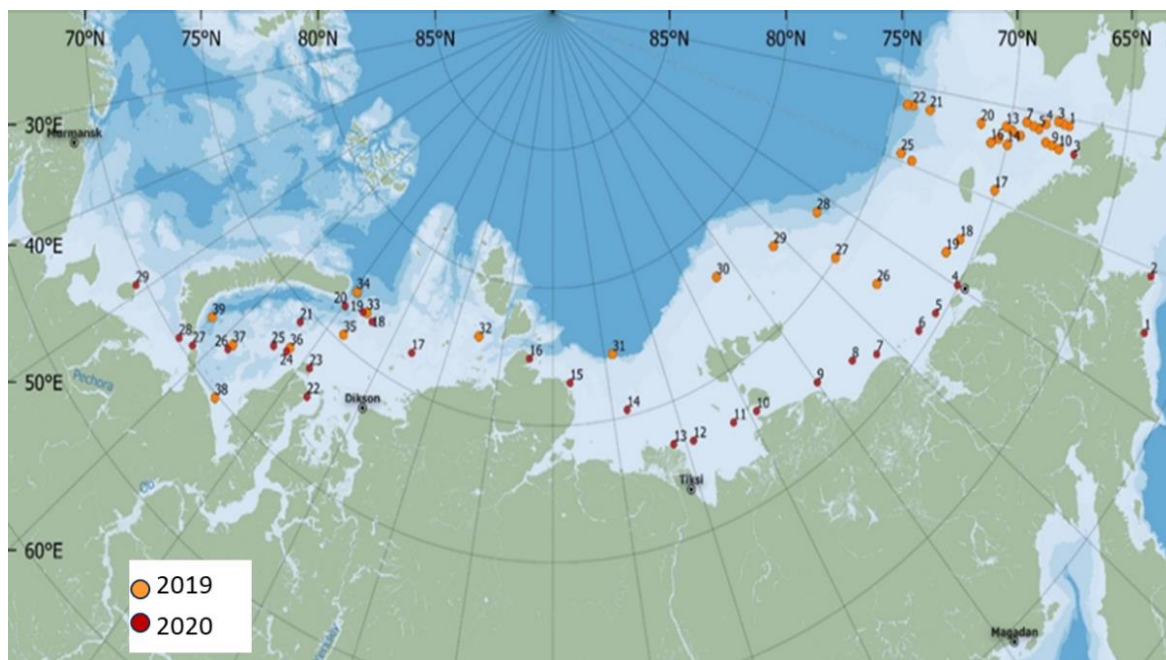


Рисунок 1. Районы наблюдений и места отбора проб микропластика в морской и прибрежной части шельфа восточного сектора российской Арктики в августе-сентябре 2019 г. (НИС «Профессор Леванидов») и в сентябре-октябре 2020 г. (УПС барк «Седов»)

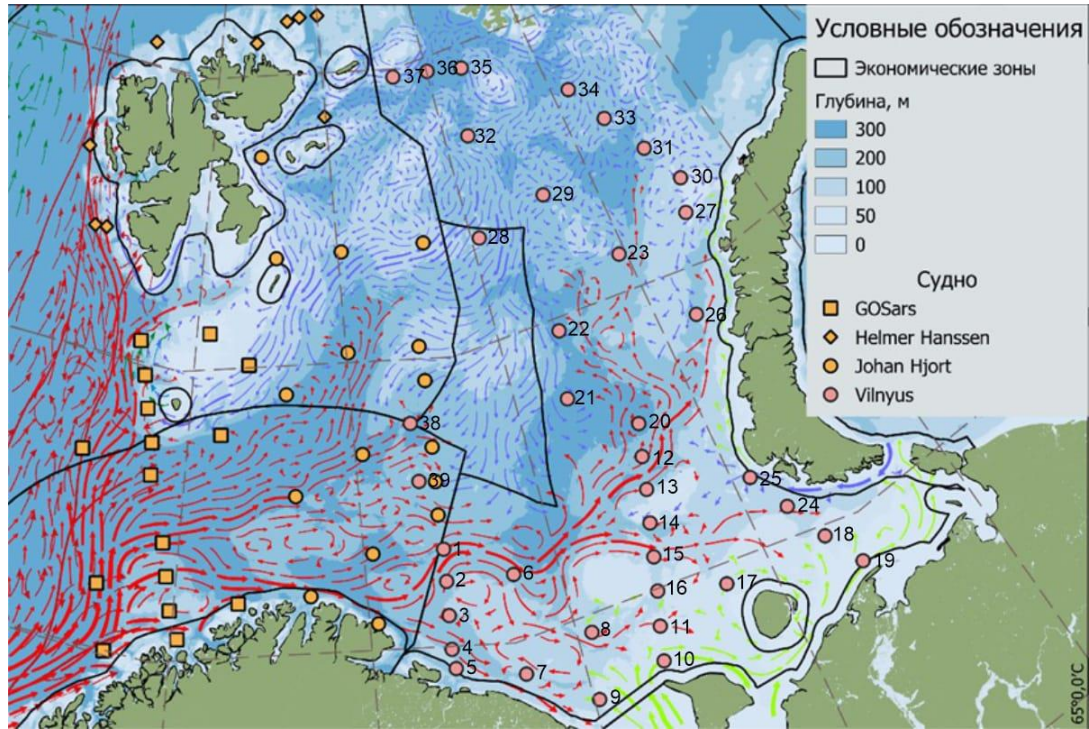


Рисунок 2. Положение точек отбора проб на содержание микропластика на акватории российско-норвежской экосистемной съёмки (BESS'2021) в Баренцевом море в августе-сентябре 2021 г.
Обозначения: Стрелками на карте показаны направления поверхностных течений

Отбор проб микропластика на поверхности арктических вод проводили по единой методике. Траления выполняли по ходу движения судна (на циркуляции только в 2019 г.) на скорости 2,0-3,5 узлов, в поверхностном слое моря нейстонной сетью Манты с ячей 335 мкм, оснащённой калиброванным счётчиком протока воды General Oceanic's для контроля дистанции траления и объёма профильтрованной воды через рамку сети размером 600x150 мм.

В ходе наблюдений в 2019-2021 гг. собрано 99 пробы воды для оценки загрязнения микропластиком поверхностных вод российского сектора Арктики. В 2019 г собрано 35 проб в мористой части шельфа, в 2020 г. собрано 25 проб (10 в мористой части шельфа и 15 в прибрежной его части), в 2021 г. на акватории восточной части Баренцева моря собрано 39 пробы (рисунок 3). Из материалов исключены аварийные станции.

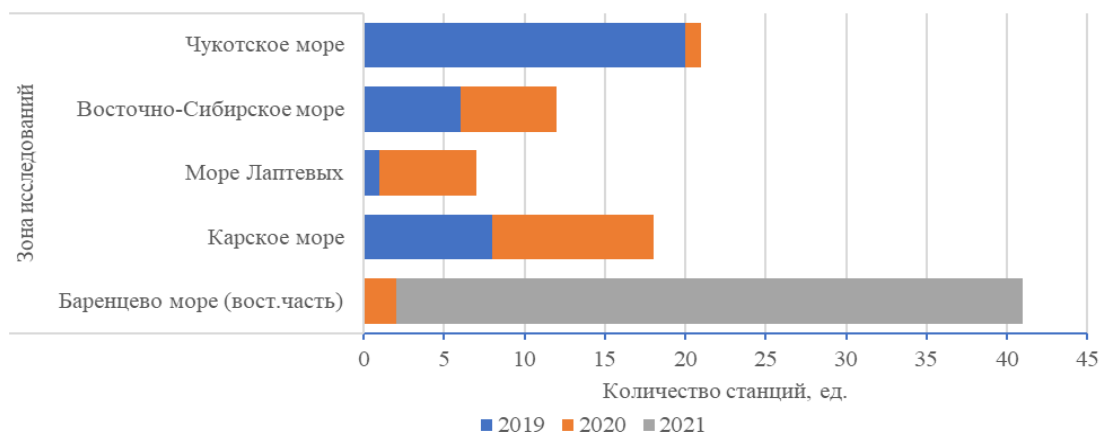


Рисунок 3. Количество проб на содержание микропластика, собранных на поверхности моря в российской части Арктики в 2019-2021 гг.

Лабораторную обработку проб, сортировку частиц микропластика и волокон для получения объективных, сопоставимых количественных оценок загрязнения поверхностных вод морей выполняли в соответствии с опубликованными методами [2], адаптированным к особенностям лабораторной базы, в несколько этапов: плотностное разделение методом флотации, фильтрование, очистка проб от органического материала 10% раствором КОН.

Качественный анализ полученных проб проведён на базе Политехнического института Дальневосточного федерального университета с использованием методов инфракрасной (ИК) микроскопии и спектromетрии с преобразованием Фурье. Определение химического состава микропластика и типа полимера выполняли на ИК-Фурье спектрометре IRTraser-100 с приставкой НПВО (нарушенное полное внутренне отражение) Quest горизонтального типа (Shimadzu, Япония) с диапазоном измерений от 400 до 4000 см⁻¹ и разрешением 2 см⁻¹. Идентификация проводилась автоматическим сравнением со встроенной библиотекой спектров (STJ-Europe Spectral Database, Германия).

Образцы загрязняющих материалов проанализированы в пределах размерных классов менее 0,5 мм, 0,5-1 мм, 1-2 мм, 2-3 мм, 3-4 мм, 4-5 мм, 5-15 мм и 15-50 мм. В пределах этой классификации к микропластику

относили образцы неорганического происхождения (идентифицированные методом ИК-спектроскопии как фрагменты, пленки, гранулы) размером менее 5 мм. К мезопластике относили образцы неорганического происхождения 5-15 мм и 15-50 мм. В исследовании учитывали волокна неорганического происхождения (идентифицированные методом ИК-спектроскопии).

Результаты и обсуждение. Несмотря на увеличение количества наблюдений *in situ* в Арктическом регионе, в настоящее время достаточно сложно подготовить объективную количественную оценку загрязнения вод микропластиком в связи с использованием различных, часто не сопоставимых между собой, методов отбора и обработки проб воды.

На основании эпизодических наблюдений и модельных расчетов [18, 25] высказывались предположения о переносе, накоплении пластика и существовании «мусорного пятна» в Арктическом регионе. Для подтверждения/опровержения, высказанных предположений о наличии концентраций микропластика и его переноса потоками теплых течений, в рамках этого исследования обобщены данные о загрязнении поверхностных вод неорганическими материалами и пластиком собранные в экспедициях ФГБНУ «ВНИРО» в морях Арктики в 2019-2021 гг. В дополнение к ним использованы материалы сборов нейстонными сетями Манта в этом регионе по проекту «ТрансАрктика 2019» [26]. Отмечено [21], что сети Манта имеют ряд преимуществ по сравнению с другими методами сбора проб микропластика и широко применяются в научных исследованиях в разных районах Мирового океана, что в дальнейшем позволяет сравнивать полученные результаты.

Первичный анализ собранных проб показал, что в уловах сети отмечаются материалы природного (молодь рыб и крабов, икра, медуза, остатки органики, древесина, трава, перья, нити, волос, песчаник и глина, растительные масла), загрязняющие материалы смешанного и

синтетического происхождения (микропластик, волокна, красители, судовая краска, смазки и масла, остатки фармацевтических продуктов, резина, и др.)(Рисунок 4).



Рисунок 4. Состав уловов сети Манты на поверхности морей Арктики (по материалам исследований ФГБНУ «ВНИРО» в 2019-2021 гг.)

Обобщение данных наблюдений в Чукотском, Восточно-Сибирском, море Лаптевых и Карском морях 2019 и 2020 гг., выполненных в прибрежной и мористой частях шельфа показал, что встречаемость этих групп загрязняющих материалов различна в границах шельфа (рисунок 5).

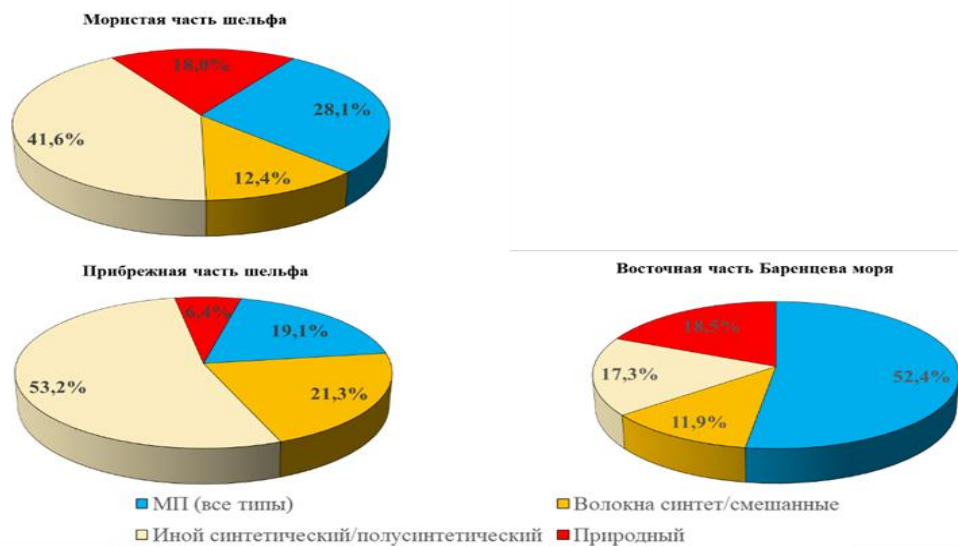


Рисунок 5. Состав уловов сети Манты в прибрежной и мористой части шельфа морей Арктики в 2019-2020 гг. и в восточной части Баренцева моря в 2021 г.

Данные о составе уловов сети Манты в Карском море, за исключением станции 23, были включены в выборку для мористой части шельфа. Сведения

о составе уловов сети Манта в Баренцевом море (мористая часть шельфа) представлены отдельной диаграммой на рисунке 5, что дает наглядное представление о соотношении загрязняющих материалов в границах Арктической зоны России.

В трехлетней выборке в общей сложности в пробах поверхностных вод было выделено 332 частицы (от 0 до 16 единиц на пробу), при этом только 127 из них была идентифицирована как пластик, что составляет 38,3% от выборки. Пластик не был обнаружен в 23 пробах воды, что составляет 23,2% от их общего количества. Несколько крупных образцов (41 единица), размером более 5 мм – мезопластик, были выделены в собранных пробах воды, наибольшее их количество отмечено в прибрежной части шельфа (21 единица) и в восточной части Баренцева моря (16 единиц).

Следует отметить, что встречаемость пластика (разных типов) в прибрежной части шельфа (19,1%) была заметно ниже по сравнению таковой в мористой (28,1%) и кратно меньше, чем в восточной части Баренцева моря (52,4%). Это указывает на поступление загрязняющих материалов в эти районы течениями из сопредельных районов Атлантики и Тихого океана. В прибрежной части шельфа влияние речного стока доминирует по сравнению с переносом прибрежных вод с запада на восток, что вероятно отразилось на встречаемости различных форм пластика. С другой стороны, здесь в большей степени проявилось загрязнение иными неорганическими материалами, которые поступают в водную среду в результате сброса льяльных вод транспортными судами, с речным стоком. Встречаемость этих материалов в прибрежной части шельфа составила 53,2%, в мористой части – 41,6%, в восточной части Баренцева моря – только 17,3%. Важно отметить, что встречаемость волокон в мористой части шельфа и Баренцевом море не превысила 12,4% и заметно увеличилась в пробах прибрежной части шельфа (21,3%), что вероятно обусловлено близостью этих участков к трассам грузоперевозок и влиянием речного стока.

На станциях в прибрежной части шельфа, была отмечена высокая встречаемость природных материалов (насекомые, трава, остатки древесины, семена растений и прочее), данные о встречаемости которых не вошли в анализ. Вместе с тем в пробы попали частицы, которые идентифицировались как природного происхождения (6,4%). Количество аналогичных материалов в мористой части шельфа и восточной части Баренцева моря было значительно выше, 18,0 и 18,5%, соответственно. Выявить причину этой закономерности не представлялось возможным.

Вариация линейных размеров частиц пластика по трем районам была схожа. В размерных группах пластика преобладали частицы с наибольшей длиной от 1 до 3 мм, встречаемость от 15,6 до 34,8 которая вероятно определялась географическим положением станций сбора проб (рисунок б).

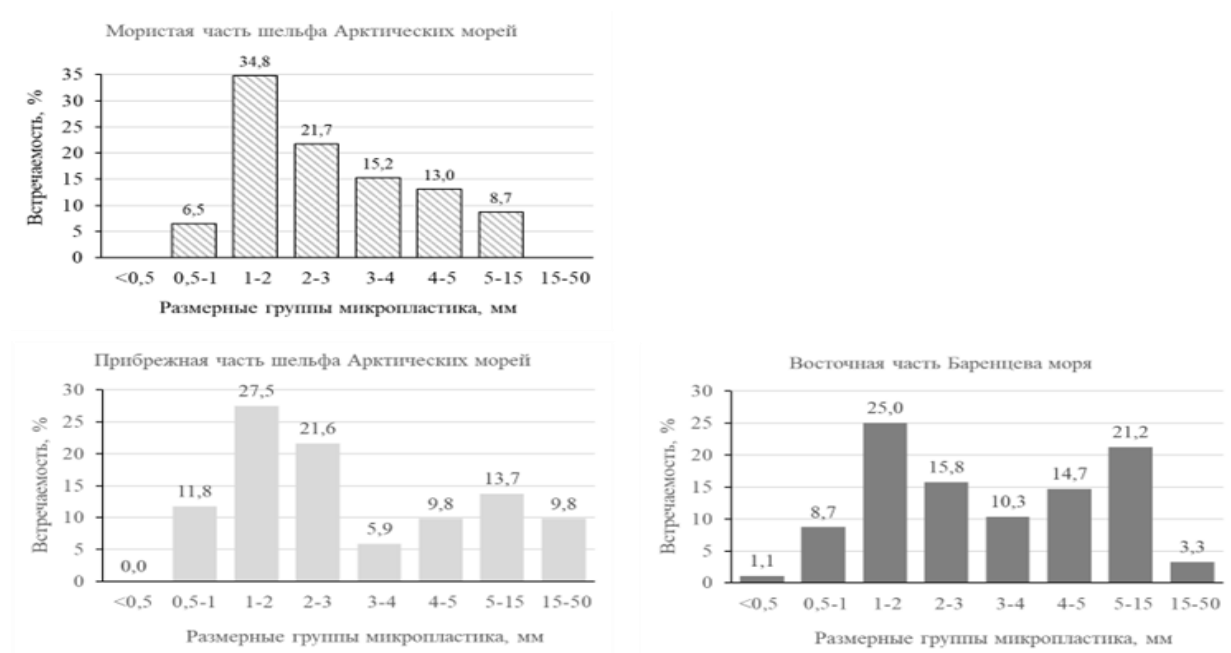


Рисунок 6. Вариация размеров пластика в разных частях шельфа Арктических морей в 2019-2020 гг. и на акватории восточной части Баренцева моря в 2021 г.

Значительно высокая доля мезопластика в пробах Баренцева моря (суммарно 24,5%) косвенно указывает на возможное поступление этих частиц с потоками атлантических вод в восточную часть моря и далее на

восток вдоль берегов, что подтверждается высокой встречаемостью (23,5%) мезопластика в прибрежной части шельфа Арктических морей.

Важным результатом данного исследования стало обобщение данных о распределении типов пластика на различных участках акватории морей Арктической зоны России. На акватории исследований практически во всех Арктических морях отмечали 5 типов пластика: полиэтилен (PE), полипропилен (PP), полиэтилен низкого давления (LDPE), полиэтилен высокого давления (HDPE) и полистирол (PS), что согласуется с объемами их промышленного производства в странах Европы [24]. Встречаемость этих типов пластика на акватории Арктических морей, нормированная по количеству станций наблюдений, представлена на рисунок 7.

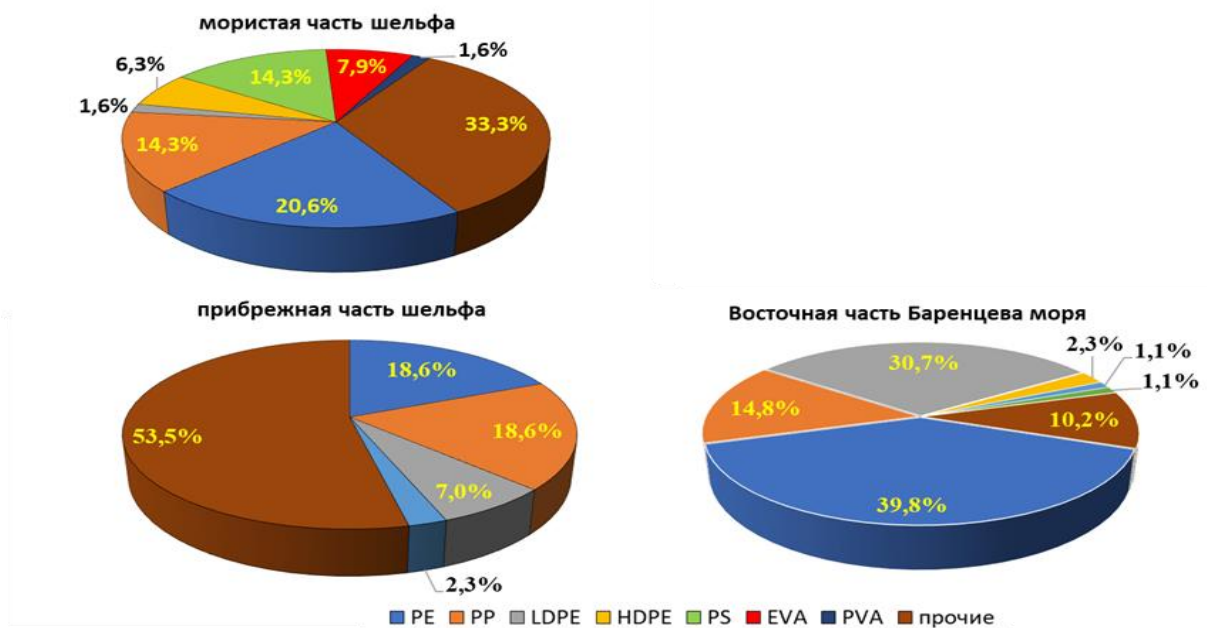


Рисунок 7. Типы микропластика в пробах воды, собранных на поверхности морей российского сектора Арктики в 2019-2020 гг. и Баренцевом море в 2021 г.

Для удобства представления и интерпретации типы пластиков, единично отмечавшиеся в пробах воды, объединены в группу «Прочие», к которой были отнесены: поливинилхлорид (PVC), полидиметилсилоксан (PMX), поливинилацетат /термопласт/ (PVA), полиамид (PA), терполимер

полипропилена (PPT), полибутилтерефталат/термопласт/ (PBT), целлюлоза (CA/CE), полиметилметакрилат (PMMA), полиэтилентерефталат (PET).

Высокая встречаемость представленных 5-ти типов пластика закономерна, поскольку они обладают относительно низкой плотностью, соответственно, длительное время могут находиться в поверхностном слое морей. Примечательно, что суммарная доля этих загрязняющих материалов достаточно высока в пробах, собранных в Баренцевом море (87,4%) и мористой части шельфа (57,1%), что косвенно подтверждает высказанное положение о возможности транспорта этих пластиков потоками течений из Северной Атлантики в Арктический бассейн. В тоже время, в пробах, собранных в прибрежной части шельфа, суммарная доля этих материалов невысокая (44,2%) и в значительной степени дополнялась полимерами, которые в пробах отмечали единично (CA, PMMA, PBT, PET, PVC), и поступали в водную среду в ходе эксплуатации транспортных судов или с водами речного стока.

Широкий охват акватории восточной части Баренцева позволил построить достаточно подробные карты-схемы распределения пластика и неорганических загрязняющих материалов (рисунок 8). Представленные схемы наглядно подтверждают высказанное предположение о дрейфе загрязняющих материалов в поток атлантических вод в восточную часть моря и далее в Карское море.

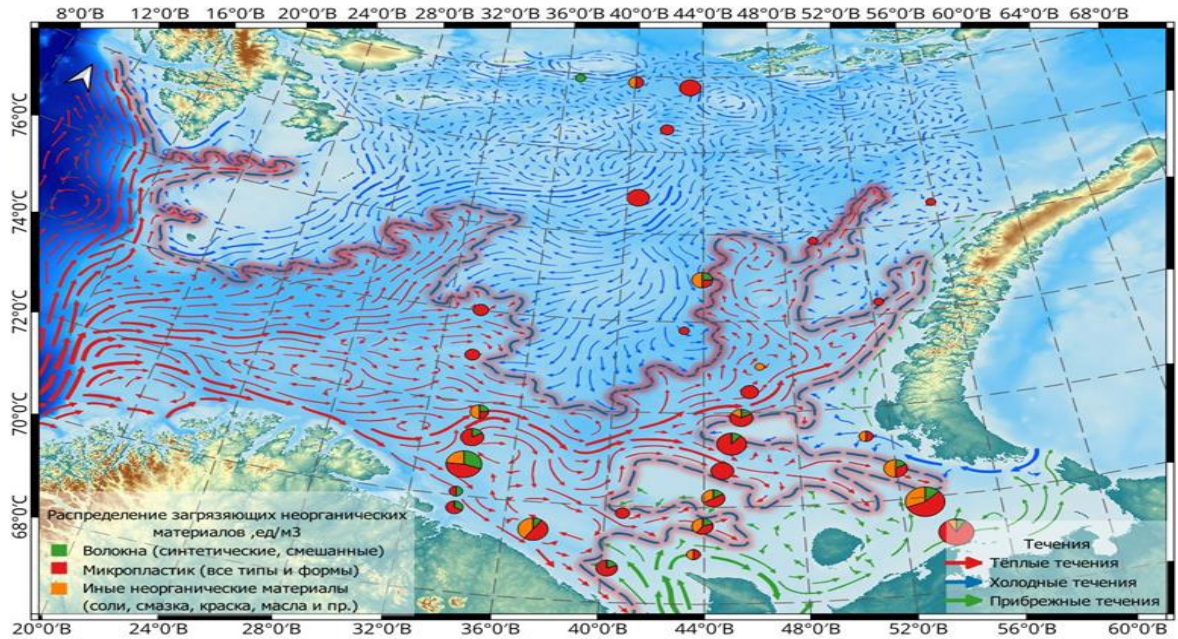


Рисунок 8. Распределения загрязняющих неорганических материалов в российской части акватории экосистемной съемки Баренцева моря (BESS'2021) в августе-сентябре 2021 г.

Наибольшие концентрации загрязняющих материалов в поверхностном слое отмечены в потоках атлантических теплых течений. Состав уловов нейстонной сети показал незначительное присутствие в пробах воды синтетических и полусинтетических волокон в восточной части Баренцева моря. Представленную схему дополняют данные о встречаемости в пробах воды разных типов пластика на акватории исследований (рисунок 9). Значительная часть «легких» полимеров низкой плотности отмечена в треках теплых атлантических вод.

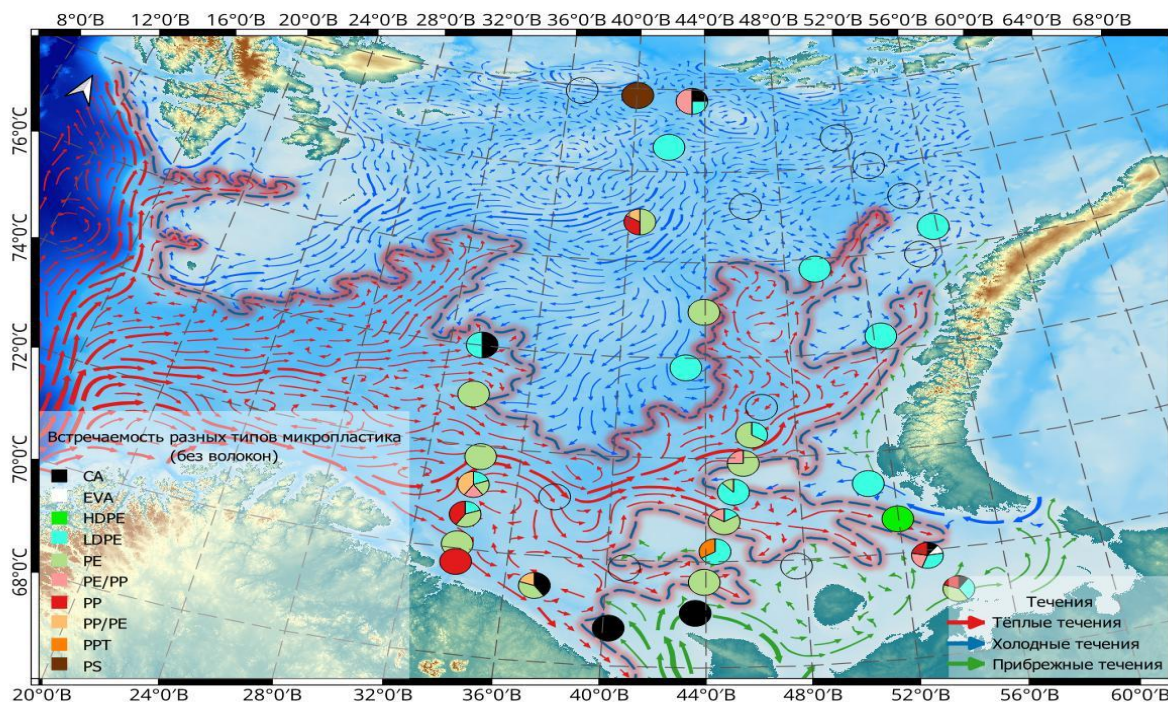


Рисунок 9. Встречаемость типов пластика в пробах воды в российской части акватории экосистемной съемки Баренцева моря (BESS'2021) в августе-сентябре 2021 г.

Представленные материалы и расчеты концентраций пластика на поверхности морей согласуются с результатами экспедиции «ТрансАрктика 2019». Аналогично нашим исследованиям, большинство пластиков, обнаруженных в пробах воды с поверхности моря были идентифицированы как полиэтилен (PE) (36,6%). Также отмечено близкое соотношение по морфологии образцов [26], в части соотношения встречаемости фрагментов и волокон.

При определении качественного состава пластика, помимо традиционно выделяемых исследователями типов, выявлен широкий спектр поллютантов, в том числе не полимерной природы. Повторный спектральный анализ образцов загрязняющих материалов через 1,5-2 года показал, что пластик меняет свойства и в результате диагностируется другой его элементный состав, в котором появляются циклогексан, иономеры различного состава, карбонаты и другие соединения. Вероятно, что пластик помимо обрастания и абсорбирования, также деградирует и меняет свои свойства, в зависимости от

длительности пребывания в морской среде. Авторы полагают, что при оценках степени загрязнения вод пластиком необходимо также регистрировать общее неорганическое их загрязнение.

Заключение. В ходе проведенных исследований в границах российской части Арктических морей не обнаружены локальные концентрации пластика существование которых обосновывали отдельные зарубежные авторы. Расчеты концентраций пластика на поверхности Арктических морей подтвердили вывод [3] о низкой степени их загрязненности неорганическими материалами по сравнению с другими районами Мирового океана. Наибольшие концентрации пластика в воде на станциях не превышали 0,15 ед./м³: в водах Чукотского моря было менее 0,03 ед./м³; Восточно-Сибирского моря – менее 0,11 ед./м³; моря Лаптевых – менее 0,02 ед./м³; Карского моря – менее 0,15 ед./м³; и водах восточной части Баренцева моря – менее 0,12 ед./м³.

Таким образом, количественные оценки содержания пластика в поверхностных водах Арктических морей, полученные на текущий момент с использованием нейстонных сетей Манта 335 мкм, можно условно принять за «начальные» или «нулевые» показатели, что актуально для обеспечения безопасности пищевой продукции из водных биологических ресурсов в преддверии активной фазы развития судоходства и эксплуатации трассы Северного морского пути, в условиях потепления Арктики и реализации крупных инфраструктурных проектов в Арктическом регионе. Результаты исследования подтвердили правомерность рабочей гипотезы об источниках поступления пластика в российскую Арктическую зону, согласно которой перенос его фрагментов осуществляется: течениями из сопредельных районов северо-восточной Атлантики и Берингова моря; в результате таяния дрейфующего льда; атмосферными переносами; и водами речного стока.

Представленные данные полевых исследований, на наш взгляд, будут востребованы в качестве входной информации численных моделей переноса

пассивной примеси в Евразийскую Арктику, что ранее было сложно реализовать в виду отсутствия достоверных измерений концентраций пластика на поверхности вод этих районов.

С другой стороны, новые данные о химическом составе собранных проб могут быть использованы для формирования предметных предложений по дальнейшему развитию исследований пластикового загрязнения вод и водных биологических ресурсов в районах российского рыболовства, а также для разработки нормативов ПДК. В настоящее время на стадии подготовки находится Международная Конвенция по пластику (Международный договор о борьбе с загрязнением пластмассами, в том числе в морской среде), которая в дальнейшем будет использоваться для формирования нормативно-правовой базы по данной проблеме в Российской Федерации. Сбор, обобщение и систематизация этой информации крайне необходимы для оценки воздействия загрязнения пластиком на экосистемы в условиях растущего производства пластмасс для предотвращения возможных экологических, социальных и экономических последствий и обеспечения безопасности пищевой продукции из водных биологических ресурсов. С учетом важности аспекта этих исследований, с 2023 г. ВНИРО реализует масштабное исследование загрязнения пластиком водной среды и желудочно-кишечных трактов промысловых рыб в районах отечественного рыболовства, основная цель которого – изучение степени загрязнения пластиком и его возможное влияние на водные биологические ресурсы окраинных морей России.

Представленное обобщение результатов исследований 2019-2021 гг. делает несостоятельными высказывания ряда зарубежных исследователей [17] об отсутствии или недоступности для международного научного сообщества сведений о степени загрязнения пластиком Российской части Арктики.

Список источников

1. Беляев В.А., Седлецкий И.В., Педченко А.П. Влияние загрязнения морской среды микропластиками на рыбные ресурсы и аспекты продовольственной безопасности. Часть I. Использование и охрана природных ресурсов в России, № 3 (179)/2024. С. 35-40.
 2. Зобков М.Б., Есюкова Е.Е. 2018. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов // Океанология. Т. 58, № 1. С. 149-157. DOI: 10.7868/S0030157418010148.
 3. Колончин К.В., Педченко А.П., Беляев В.А. Исследования содержания микропластика в воде и промысловых рыбах: от научного поиска к масштабному мониторингу. Труды ВНИРО. 2023; т. 193: с. 162-173.
 4. Макаров М.В., Матишов Г.Г., Моисеев Д.В., Малавенда С.В., Дворецкий А.Г., Дружкова Е.И., Ежов А.В., Ильин Г.В., Карамушко О.В., Бердников С.В. Биоресурсы Арктических морей: Современное состояние, влияние климатических и антропогенных воздействий // Труды Кольского научного центра РАН. 2020. №4-7. С. 7-28.
 5. Никитин О.В., Латыпова В.З., Ашихмина Т.Я., Кузьмин Р.С., Насырова Е.И., Харипов И.И. 2020. Микроскопические частицы синтетических полимеров в пресноводных экосистемах: изученность и современное состояние // Теоретическая и прикладная экология. № 4. С. 216-222. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-4-216-222
 6. Педченко А.П., Блиновская Я.Ю. Трансарктическая экспедиция ВНИРО: Результаты исследований микропластика в Арктических морях в 2019 г.// Инновационные научные исследования: теория, методология, практика // Сборник статей Международной научно-практической конференции. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2020. Ч.1. – с. 203- 205.
 7. Педченко А.П., Сомов А.А. 2021. Арктический переход барка «Седов» в августе-октябре 2020 г.: обзор результатов научных наблюдений // Труды ВНИРО. Т. 185. С. 163–171.
-

8. Педченко А.П., Анциферов М.Ю., Губанищев М.А., Двинин М.Ю. 2021. Международная съёмка микропластика в Баренцевом море в 2021 году: первый опыт крупномасштабной количественной оценки // Тр. X Межд. науч.-практ. конф. «Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)» Т. III (III). Тверь: ПолиПРЕСС. С. 336-340.
 9. Ридигер А.В. Арктика как источник водных биологических ресурсов// Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. 2022. № 4 (8). С. 65-73.
 10. Соколов Ю.И. 2020. Риски тотального пластикового загрязнения планеты // Проблемы анализа риска. Т. 17. № 3. С. 30-43, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-3-30-43>
 11. Указ Президента Российской Федерации от 26.10.2020 г. № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» [Электронный ресурс] URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972> (дата обращения: 01.10.2024 г.)
 12. Указ Президента РФ от 26 октября 2023 г. № 812 "Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации" [Электронный ресурс] URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407782529/> (дата обращения: 01.10.2024 г.).
 13. Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20 “Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации” [Электронный ресурс] URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/> (дата обращения: 01.10.2024г.).
 14. Чубаренко И.П. Есюкова Е.Е., Хатмуллина Л.И., Лобчук О.И., Исаченко И.А., Буканова Т.В. 2021. Микропластик в морской среде. М.: Научный мир. 520 с.
 15. Alabia, I.D., García Molinos, J., Hirata, T. et al. Pan-Arctic marine biodiversity and species co-occurrence patterns under recent climate. Sci Rep 13, 4076 (2023).
-

16. Bergmann M., Collard F., Fabres J., Gabrielsen W., Provencher J., Rochman C., Seville E., Tekman M. Plastic pollution in the Arctic // *Nat. Rev. Earth Environ.* 2022, 3: 323–337.
 17. Collard F. Ask A. Plastic ingestion by Arctic fauna: A review. *The Science of The Total Environment* 2021, 786, 147462, 14 p.
 18. Cozar A., Martí E., Duarte C., García-de-Lomas J., van Seville E., Ballatore T., Eguíluz V.M., González-Gordillo J.I., Pedrotti M.L., Echevarría F., Troublè R., Irigoien X. 2017. The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the Thermohaline Circulation. *Sci Adv* 3 (4), e1600582. p. 1-8. DOI: 10.1126/sciadv.1600582.
 19. GESAMP. 2020. Proceedings of the GESAMP International Workshop on assessing the risks associated with plastics and microplastics in the marine environment / Kershaw P.J., Carney Almroth B., Villarrubia-Gómez P., Koelmans A.A., Gouin, T., eds. (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. to GESAMP No. 103, 68 pp.
 20. Kvamsdal S.F., Dankel D., Ekerhovd N.A., Hoel A.H., Renner A.H., Sandø A.B., Steinshamn S.I. Multidisciplinary perspectives on living marine resources in the Arctic. *Polar Research* 2022, 41, 7766.
 21. Lusher A.L.; Hollman P.C.H.; Mendoza-Hill J.J. 2017. Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. No. 615. Rome, Italy. – 140 pp.
 22. Morgana, S.; Ghigliotti, L.; Estévez-Calvar, N.; Stifanese, R.; Wieckzorek, A.; Doyle, T.; Christiansen, J.S.; Faimali, M.; Garaventa, F. Microplastics in the Arctic: A case study with sub-surface water and fish samples off Northeast Greenland. *Environ. Pollut.* 2018, 242, 1078–1086
 23. PAME. Desktop Study on Marine Litter including Microplastics in the Arctic (2019).
-

24. Plastic Europe. 2023 – [Электронный ресурс] URL: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023/> (дата обращения 14.03.2024)

25. Van Sebille E., England M.N., Froyland G. 2012. Origin, dynamics and evolution of ocean garbage patches from observed surface drifters. *Environmental Research Letter* 7, 044040. DOI: 10.1088/1748-9326/7/4/044040.

26. Yakushev E., Gebruk A., Osadchiev A. Pakhomova S., Lusher A., Berezina A., Bavel B., Vorozheikina E., Chernykh D., Kolbasova G., Razgon I., Semiletov I. 2021. Microplastics distribution in the Eurasian Arctic is affected by Atlantic waters and Siberian rivers. *Commun Earth Environ* 2, 23 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00091-0>

References

1. Belyaev V.A., Sedleczkij I.V., Pedchenko A.P. Vliyanie zagryazneniya morskoy sredy` mikroplastikami na ry`bny`e resursy` i aspekty` prodovol`stvennoj bezopasnosti. Chast` I. Ispol`zovanie i ohrana prirodny`x resursov v Rossii, № 3 (179)/2024. S. 35-40.

2. Zobkov M.B., Yesyukova E.E. 2018. Microplastics in the marine environment: a review of methods for sampling, preparation and analysis of water samples, bottom sediments and coastal sediments // *Oceanology*. V. 58. No. 1. pp. 149-157. DOI: 10.7868/S0030157418010148. (In Russ.)

3. Kolonchin K.V., Pedchenko A.P., Belyaev V.A. Studies of microplastic content in water and commercial fish: from scientific research to large-scale monitoring. *Trudy VNIRO*. 2023;193:162-173. (In Russ.) <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2023-193-162-173> .

4. Makarov M.V., Matishov G.G., Moiseev D.V., Malavenda S.V., Dvoreczkij A.G., Druzhkova E.I., Ezhov A.V., Il`in G.V., Karamushko O.V., Berdnikov S.V. Bioresursy` Arkticheskix morej: Sovremennoe sostoyanie, vliyanie klimaticheskix i antropogenny`x vozdeystvij // *Trudy` Kol`skogo nauchnogo centra RAN*. 2020. №4-7. С. 7-28. (In Russ.)

5. Nikitin O.V., Latypova V.Z., Ashikhmina T.Ya., Kuzmin R.S., Nasyrova E.I., Kharipov I.I. 2020. Microscopic particles of synthetic polymers in freshwater ecosystems: study and current state// Theoretical and applied ecology. 2020. No. 4. pp. 216-222. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-4-216-222. (In Russ.).
6. Pedchenko A.P., Blinovskaya Ya.Yu. 2020. VNIRO Transarctic expedition: Results of microplastics research in the Arctic seas in 2019// Innovative scientific research: theory, methodology, practice // Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference. Penza: ICNS "Science and Education". 2020. Part 1. – p. 203- 205. (In Russ.).
7. Pedchenko A.P., Somov A.A. 2021. Arctic passage of the Sedov barque in August-October 2020: a review of the results of scientific observations // Proceedings of VNIRO. Vol. 185. pp. 163-171. (In Russ.).
8. Pedchenko A.P., Antsiferov M.Yu., Gubanishchev M.A., Dvinin M.Yu. 2021. International survey of microplastics in the Barents Sea in 2021: the first experience of large-scale quantitative assessment // Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference "Marine Research and Education (MARESEDU-2021)" Volume III (III): [collection]. Tver: LLC "PoliPRESS", 2021, pp. 336-340. (In Russ.).
9. Ridiger A.V. Arktika kak istochnik vodny`x biologicheskix resursov// Arktika 2035: aktual`ny`e voprosy`, problemy`, resheniya. 2022. № 4 (8). С. 65-73. (In Russ.).
10. Sokolov Yu.I. 2020. Risks of total plastic pollution of the planet // Problems of risk analysis. Vol. 17. 2020. No. 3. pp. 30-43, <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2020-17-3-30-43>. (In Russ.).
11. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 26.10.2020 g. № 645 «O Strategii razvitiya Arkticheskoy zony` Rossijskoj Federacii i obespecheniya nacional`noj bezopasnosti na period do 2035 goda» [E`lektronny`j resurs] URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972> (data obrashheniya: 01.10.2024 g.)

12. Ukaz Prezidenta RF ot 26 oktyabrya 2023 g. № 812 "Ob utverzhdenii Klimaticheskoy doktriny` Rossijskoj Federacii" [E`lektronny`j resurs] URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/407782529/> (data obrashheniya: 01.10.2024 g.).
 13. Ukaz Prezidenta RF ot 21 yanvaryaya 2020 g. № 20 "Ob utverzhdenii Doktriny` prodovol`stvennoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii" [E`lektronny`j resurs] URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/> (data obrashheniya: 01.10.2024g.).
 14. Chubarenko I.P. 2021. Microplastics in the marine environment: monograph / I.P. Chubarenko, E.E. Yesyukova, L.I. Khatmullina, O.I. Lobchuk, I.A. Isachenko, T.V. Bukanova. Moscow: Scientific World, 2021. – 520 p. (In Russ.).
 15. Alabia, I.D., García Molinos, J., Hirata, T. et al. Pan-Arctic marine biodiversity and species co-occurrence patterns under recent climate. *Sci Rep* 13, 4076 (2023).
 16. Bergmann M., Collard F., Fabres J., Gabrielsen W., Provencher J., Rochman C., Sebille E., Tekman M. Plastic pollution in the Arctic // *Nat. Rev. Earth Environ.* 2022, 3: 323–337.
 17. Collard F. Ask A. Plastic ingestion by Arctic fauna: A review. *The Science of The Total Environment* 2021, 786, 147462, 14 p.
 18. Cozar A., Martí E., Duarte C., García-de-Lomas J., van Sebille E., Ballatore T., Eguíluz V.M., González-Gordillo J.I., Pedrotti M.L., Echevarría F., Troublè R., Irigoien X. 2017. The Arctic Ocean as a dead end for floating plastics in the North Atlantic branch of the Thermohaline Circulation. *Sci Adv* 3 (4), e1600582. p. 1-8. DOI: 10.1126/sciadv.1600582.
 19. GESAMP. 2020. Proceedings of the GESAMP International Workshop on assessing the risks associated with plastics and microplastics in the marine environment / Kershaw P.J., Carney Almroth B., Villarrubia-Gómez P., Koelmans A.A., Gouin, T., eds. (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. to GESAMP No. 103, 68 pp.
-

20. Kvamsdal S.F., Dankel D., Ekerhovd N.A., Hoel A.H., Renner A.H., Sandø A.B., Steinshamn S.I. Multidisciplinary perspectives on living marine resources in the Arctic. *Polar Research* 2022, 41, 7766.

21. Lusher A.L.; Hollman P.C.H.; Mendoza-Hill J.J. 2017. Microplastics in fisheries and aquaculture: status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. No. 615. Rome, Italy. – 140 pp.

22. Morgana, S.; Ghigliotti, L.; Estévez-Calvar, N.; Stifanese, R.; Wieckzorek, A.; Doyle, T.; Christiansen, J.S.; Faimali, M.; Garaventa, F. Microplastics in the Arctic: A case study with sub-surface water and fish samples off Northeast Greenland. *Environ. Pollut.* 2018, 242, 1078–1086

23. PAME. Desktop Study on Marine Litter including Microplastics in the Arctic (2019).

24. Plastic Europe. 2023 – [Электронный ресурс] URL: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023/> (дата обращения 14.03.2024)

25. Van Sebille E., England M.N., Froyland G. 2012. Origin, dynamics and evolution of ocean garbage patches from observed surface drifters. *Environmental Research Letter* 7, 044040. DOI: 10.1088/1748-9326/7/4/044040.

26. Yakushev E., Gebruk A., Osadchiev A. Pakhomova S., Lusher A., Berezina A., Bavel B., Vorozheikina E., Chernykh D., Kolbasova G., Razgon I., Semiletov I. 2021. Microplastics distribution in the Eurasian Arctic is affected by Atlantic waters and Siberian rivers. *Commun Earth Environ* 2, 23 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00091-0>

© Педченко А.П., Беляев В.А., Блиновская Я.Ю., 2024. *Московский экономический журнал*, 2024, № 11.