

DOI: 10.25283/2223-4594-2021-2-164-177
УДК 504.42

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКОМ МОРЕЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

А. А. Ершова, Т. Р. Еремина

Российский государственный гидрометеорологический университет
(Санкт-Петербург, Российская Федерация)

А. Л. Дунаев

(Владивосток, Российская Федерация)

И. Н. Макеева, Ю. А. Татаренко

Российский государственный гидрометеорологический университет
(Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 29 декабря 2020 г.

Загрязнение морей Арктической зоны микропластиковыми частицами слабо изучено по сравнению с другими частями Мирового океана. Отсутствие данных наблюдений и методического обеспечения исследований в морях Арктики требует разработки методов измерений. Приведены анализ существующих подходов, а также первые результаты исследований Российского государственного гидрометеорологического университета 2019 г.: описание методики отбора проб воды на микропластик и дальнейшей обработки в лабораторных условиях. Показано, что наиболее свободными от микропластика являются Восточно-Сибирское море и море Лаптевых. Наибольшее количество антропогенных микропластиков обнаружено в районах интенсивного судоходства в Охотском и Баренцевом морях.

Ключевые слова: микропластик, морской мусор, российская Арктика, Северный морской путь, загрязнение.

Введение

Пластиковый мусор в различных количествах и разных размеров находят в Мировом океане во всей водной толще от поверхностного до придонного слоя, включая донные отложения от Арктики до Антарктики [1—6]. При изучении распространения пластикового мусора особое внимание уделяется микропластиковым частицам (размером менее 5 мм) в связи с их высокой мобильностью в морской среде, способностью включения в пищевую цепочку на всех уровнях, накопления на поверхности различных устойчивых органических загрязнителей, тяжелых металлов и других опасных веществ, переносимых океанскими течениями на большие расстояния. Конкретные проблемы со здоровьем арктических живых организмов, вызываемые микропластиковыми частицами, пока только исследуются, однако во многих работах уже показано, что микропластик

найден в органах морских животных от зоопланктона до птиц и млекопитающих [2; 4; 6]. Среди нарушений, связанных с поглощением микропластиковых частиц, — блокировка пищевых путей и соответствующее уменьшение поступления пищи и питательных веществ в организм, вызывающие истощение; нарушения работы пищеварительного тракта и дыхательных органов, снижение плодовитости и смертность [6], а также токсическое воздействие на организм высоких концентраций токсикантов, переносимых микропластиковой частицей [7—9].

Интерес к исследованию загрязнения арктического региона микропластиковыми частицами в последние годы возрос во всех странах арктического бассейна [10]. Последние исследования показали наличие микропластика не только в поверхностных и подповерхностных слоях воды [6; 11—13], но и во всех других частях морской водной толщи, а также в донных отложениях и во льдах. Показано, что концентрации микропластика в морских льдах Арктики на два порядка превышают концентрации в поверхностных

водах известных мусорных пятен в Тихом океане и других частях Мирового океана [14]. Установлено наличие микропластика в глубоководных отложениях в Арктике [6] и в снегах Шпицбергена [15].

Арктика — особо уязвимая природная экосистема. Уязвимость арктических водных экосистем в первую очередь связана с климатическими изменениями, которые здесь происходят вдвое быстрее, чем в целом на планете [16]. Изменения, произошедшие за последние 50 лет, касаются всех элементов арктической экосистемы. Они влияют на баланс в морской среде загрязняющих веществ, поступающих с суши. В течение последних десятилетий наблюдается увеличение количества взвешенного вещества, выносимого с речным стоком, что объясняется потеплением и ростом стока арктических рек [17; 18]. С другой стороны, арктические морские экосистемы крайне уязвимы к антропогенному загрязнению морских вод в связи с высоким количеством организмов-фильтраторов (примером могут служить копеподы) в некоторых шельфовых районах Арктики. Несмотря на свойственную морям сибирской Арктики низкую биопродуктивность — менее 150 гС/(м²·год), величина первичной продукции имеет высокую изменчивость в течение года, а Чукотское море относится к морям с умеренно высокой продуктивностью — класс II, 150—300 гС/(м²·год) [19]. Таким образом, присутствие микропластиковых частиц в арктических водах обуславливает возможность поступления частиц в пищевую цепь арктических морских экосистем.

При уменьшении ледяного покрова и открытии Северного морского пути (СМП) Арктика становится зоной повышенной антропогенной нагрузки. Объем перевозок грузов по СМП за последнее десятилетие многократно возрос. Согласно данным Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС, <https://fedstat.ru>), объем перевозок в 2014 г. составлял 3982 тыс. т, а в 2019 г. — 31 531,3 тыс. т, т. е. на порядок больше. Также отмечается, что в Арктику возможно поступление значительного количества пластиковых частиц из Северной Атлантики, что делает ее так называемым тупиком, где аккумулируются пластиковые частицы, приносимые ветвями атлантических течений, которые переносят пластиковый мусор в Арктику из более густонаселенных регионов Европы и Америки [11]. Недавнее исследование показало, что Северный Ледовитый океан загрязнен более чем 300 млрд частиц микропластика [12]. Модельные расчеты показали, что Западная Арктика, а именно восточная часть Баренцева моря, может стать шестым крупным мусорным пятном из-за притока вод Атлантического океана [20; 21].

Изучение проблемы морского мусора и микропластика в России

Отечественные исследования загрязнения морским мусором и микропластиком российских прибрежных зон и пляжей впервые были начаты для

Балтийского и Черного морей и ведутся сравнительно недавно, в течение пяти-семи лет. Исследования загрязнения микропластиком водной среды и побережий Балтийского моря направлены на изучение особенностей распределения и поведения (оседания и др.) частиц микропластика в водной толще [22—24], разработку методик мониторинга пластикового загрязнения и исследование механизмов накопления морского мусора на побережьях юго-восточной Балтики [25—27] и восточной части Финского залива [28—31]. Исследуются водная среда и прибрежная зона Черного моря [32; 33], разрабатываются модели распределения и переноса микропластиковых частиц в прибрежных водах Балтийского моря [34].

В настоящее время Арктическая зона Российской Федерации остается наименее изученной. Отсутствуют данные регулярных измерений содержания микропластиковых частиц в водной толще и донных отложениях. Единственный доступный набор сведений по арктическим морям, охватывающий концентрации микропластика в том числе в восточной части Баренцева и Карского морей, был опубликован в 2017 г. В нем обобщены данные наблюдений международной циркумполярной экспедиции Тара Оушенс [12]. В российской научной литературе имеется всего несколько упоминаний об экспедиционных исследованиях разных научных групп, проводившихся в 2017—2019 гг. в арктических морях (Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Дальневосточный федеральный университет) [35—38]. Важнейшими для фундаментального изучения микропластикового загрязнения российской Арктики являются результаты экспедиций «Арктический плавучий университет» 2018 и 2019 гг., в ходе которых были отобраны пробы на содержание микропластика в поверхностном слое в Белом, Баренцевом и Карском морях [39; 40]. Полученные результаты подтвердили предположение [12] о накоплении загрязнения у берегов Новой Земли, где концентрации микропластика превышают в 10 раз подобные концентрации, полученные для арктических вод, и по абсолютным показателям сравнимы со значениями, полученными в центрах субтропических круговоротов.

Еще одна проблема, связанная с изучением содержания микропластиковых частиц в водной толще и донных отложениях не только в России, но и в мире, — это отсутствие единой (унифицированной) утвержденной методики, что затрудняет сопоставимость получаемых данных измерений. Существуют рекомендации некоторых европейских и американских организаций, таких как Национальное управление по исследованию океана и атмосферы США [41] и Европейская комиссия [42]. Однако сегодня в мире нет стандартного протокола анализа микропластика в пробах воды и грунта, и выбор метода определения зависит от качества и объема пробы, а также от приборной базы и условий в ла-

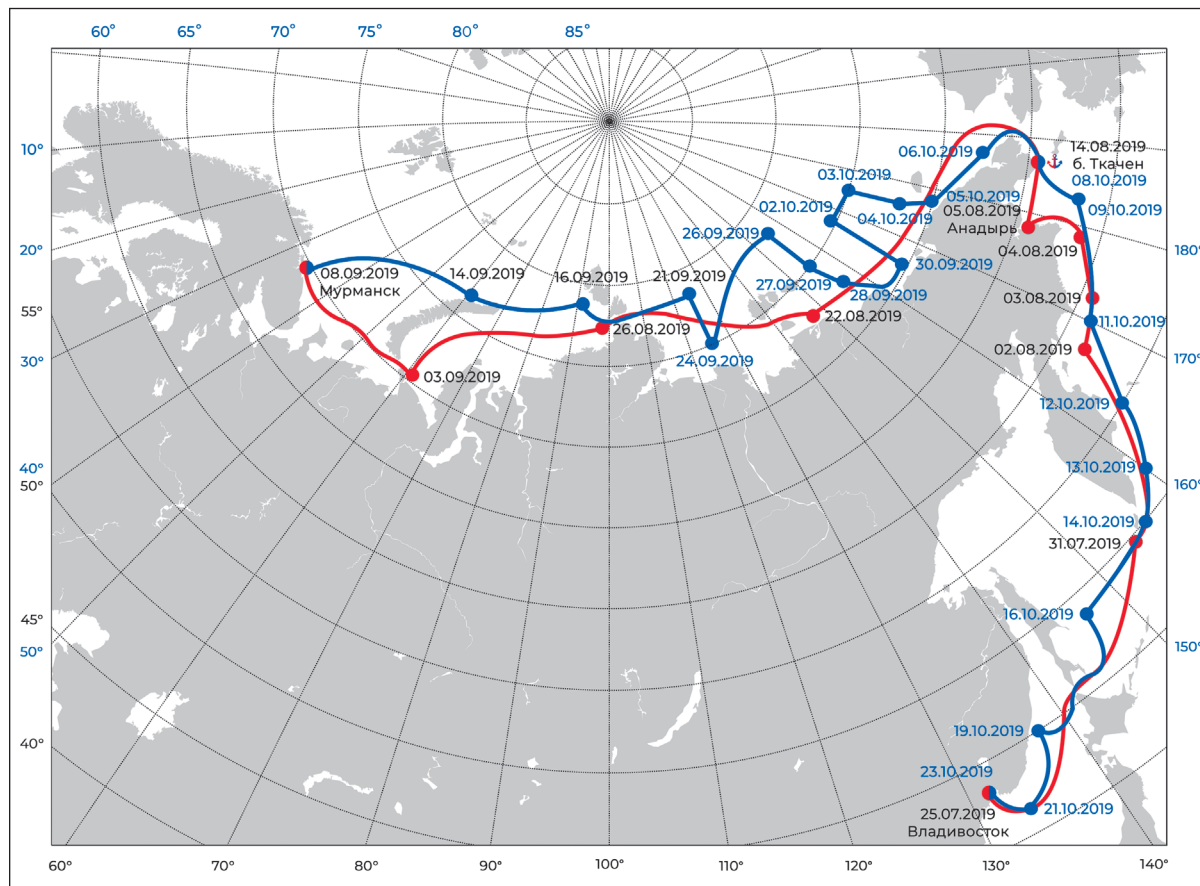


Рис. 1. Маршрут экспедиции четвертого этапа программы «ТРАНСАРКТИКА-2019» в июле-октябре 2019 г.

Источник: <http://www.aari.ru/transarctica2019/dreif.html>

Fig.1. The TRANSARCTICA-2019 Leg 4 cruise route in July-September 2019. Source: <http://www.aari.ru/transarctica2019/dreif.html>

боратории. К основным трудностям в определении микропластика в пробах относятся выделение частиц микропластика из среды (особенно при наличии большого количества органической взвеси) [43; 44], а также визуальная идентификация частиц. Методы визуальной микроскопии для этих целей уже не подходят в связи с высокой погрешностью оценки; они используются для предварительной идентификации частиц и их отбора на качественный анализ. Наиболее часто используемые и точные методы качественного анализа полимерных частиц в настоящее время — рамановская спектроскопия комбинационного рассеяния и ИК-Фурье спектроскопия (FTIR, инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье), при возможности дополненные ИК-микроскопией (микро-ИК-спектрометрия) [45]. Таким образом, очевидна необходимость экспериментальных исследований и апробации различных методов отбора проб и лабораторного анализа на основе существующих в международной практике знаний.

Наиболее масштабные по пространственному охвату исследования в арктическом и тихоокеанском секторах Российской Федерации были выполне-

ны в рамках научной экспедиции четвертого этапа программы «ТРАНСАРКТИКА-2019» на научно-исследовательском судне (НИС) «Профессор Мультановский» в 2019 г. [46]. Их целью было получение оценки загрязнения микропластиковыми частицами морской среды всей Арктической зоны Российской Федерации и морей Дальнего Востока на протяжении Северного морского пути от Владивостока до Мурманска и обратно. Основные задачи исследования — отработка методики отбора проб на содержание микропластиковых частиц в поверхностном слое воды в арктических и дальневосточных морях, а также получение предварительных оценок загрязнения морской среды для определения зон наибольшего скопления микропластика на протяжении маршрута экспедиции.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в летне-осенний период 2019 г. Отбор проб производился в Охотском, Беринговом, Чукотском, Восточно-Сибирском морях, море Лаптевых, Карском и Баренцевом морях. Схема станций представлена на рис. 1. В ходе экспедиции в течение двух этапов (Владивосток — Мур-

манск и Мурманск — Владивосток) всего было отобрано 120 проб морской воды подповерхностного горизонта (4,5 м).

Выбор методики отбора проб воды

Самым распространенным методом, позволяющим произвести облов наибольшей площади водной поверхности за единицу времени, является использование так называемого манта-трала, представляющего собой сеть, прикрепленную к корпусу с металлическими крыльями, позволяющему отбирать пробы с поверхностного горизонта. Из-за специфики и различия технических возможностей российских судов далеко не всегда удается применять манта-трал, так как траление должно происходить длительное время на малом ходу судна и только в благоприятных погодных условиях (при слабом волнении). Другим ограничивающим фактором использования манта-трала является стандартный размер ячеи его сети — 330 мкм, а частицы меньшего размера (50—100 мкм), имеющие ключевое значение при вовлечении в пищевые цепи (потребление микрочастиц зоопланктоном) [47], не учитываются. Также при отборе проб воды манта-тралом происходит значительная потеря самой пробы в связи с необходимостью вымывать осажденный фильтрат на палубе с помощью шланга: крайне трудно вымыть всю пробу из сети, в то время как при сборе пробы на проточном фильтре потери фильтрата минимальны.

Другой общепринятый метод отбора проб воды — использование погружного насоса для закачивания воды с подповерхностного горизонта с обязательным последующим фильтрованием через специальный фильтр определенного размера. Также для этих целей иногда используют батометры для отбора проб воды на различных горизонтах, однако их применение целесообразно в заведомо сильно загрязненных морях, так как для фильтрования используются сравнительно небольшие объемы воды. В противном случае данный метод требует слишком больших затрат времени и труда.

В ходе экспедиции по программе «ТРАНСАРКТИКА-2019» отработывались различные методы отбора проб на содержание микропластика в морской среде с адаптацией международного опыта мониторинга для последующего определения оптимального метода исследования микропластикового загрязнения на маршруте Северного морского пути. Специфика программы «ТРАНСАРКТИКА-2019» не позволяла применять манта-трал из-за требования длительное время придерживаться малой скорости судна, а также в связи с сильным волнением на пути следования. Другим ограничением использования заборного оборудования являлось небольшое количество океанографических станций по пути следования на первом этапе. Таким образом, отбор проб морской воды по ходу судна был наиболее удобен, так как позволил отбирать пробы на всем маршруте

следования от Владивостока до Мурманска независимо от возможности остановки судна, погодных и иных ограничений.

В связи с этим был проведен отбор проб микропластиковых частиц с помощью разработанного коллективом авторов пробоотборника для использования по ходу судна с помощью проточной системы, вмонтированной в килевую часть судна «Профессор Мультиановский» и позволяющей прокачивать поверхностную воду с глубины 4,5 м и отбирать пробы непрерывно по всему маршруту независимо от погодных и иных условий. Разработанный пробоотборник-фильтр HydroPuMP (HydroPump for MicroPlastics) представляет собой специальное устройство со сменными насадками и металлической сетью-фильтром с различными размерами ячеей, подключаемое к проточной системе (насос в килевой части судна, забирающий заборную воду по ходу судна с глубины 4,5 м из подповерхностного слоя) с включением в цепь счетчика воды. Все составляющие системы последовательно соединены шлангом. Она содержит минимальное количество пластиковых частей — все компоненты, кроме шланга, состоят из стали и других металлических сплавов. В ходе отбора проб в обязательном порядке также фиксируются такие параметры окружающей среды, как температура и соленость воды (CTD-зондирование), скорость и направление ветра, скорость хода судна, координаты точки отбора.

Таким образом, для отбора проб воды использовались:

- пробоотборник-фильтр HydroPuMP (HydroPump for MicroPlastics) для забора морской воды: съемная фильтровальная установка с заменяемой металлической сетью, размер ячеи сети — 50 и 100 мкм;
- встроенный судовой насос для забора заборной воды, установленный на глубине около 4,5 м в килевой части судна, диаметр входного отверстия — 35 мм;
- счетчик воды.

Применяемый метод отбора проб воды с судна с помощью пробоотборника HydroPuMP имел значительные преимущества перед сетными ловами:

- способность отбирать пробы на всем протяжении маршрута следования судна независимо от возможности остановки или снижения его хода, а также погодных условий, что особенно актуально для арктических морей, отличающихся сложными погодными условиями;
- сокращение благодаря герметичности разработанной насадки и малой площади взаимодействия пробоотборника с внешней средой возможных источников загрязнения пробы, при этом исключаются потери материала.

Данный метод позволил протестировать фильтры различного размера (50 и 100 мкм) для определения оптимального размера ячеи для фильтрования арктических и тихоокеанских морских вод. Объем профильтрованной воды составлял от 100 л (для



Рис. 2. Осажденное взвешенное вещество на металлическом фильтре 100 мкм (Охотское море)
Fig. 2. Suspended matter settled on a metal filter, 100 μm cell size (the Sea of Okhotsk)

фильтра 50 мкм) до 3000 л (для фильтра 100 мкм). В связи с обилием в некоторых морях (Охотском, Беринговом) (рис. 2) зоопланктона, быстро забивавшего фильтр 50 мкм, основная часть проб была отобрана с помощью фильтра 100 мкм.

После фильтрации морской воды осажденное на фильтр вещество смывается в судовой лаборатории дистиллированной водой под давлением в стеклянную колбу, фиксируется специальным раствором фиксатора на основе формалина для стабилизации живого органического вещества и сливается в мерную бутылку с плотной крышкой, после чего пробы доставляются в лабораторию для анализа. В лаборатории проба сначала отстаивается несколько дней для полного осаждения органического осадка. Однако при анализе пробы важно учитывать не только сам осадок, где в органическом материале содержатся более тяжелые частицы или частицы, утяжеленные наростом биологическим материалом (биофоулинг), но и оставшуюся водную часть пробы, где могут содержаться более легкие частицы с высокой плавучестью. Таким образом, в зависимости от объема всей пробы производится анализ либо всей пробы в целом, либо ее аликвотных частей с последующим пересчетом на весь объем.

Загрязнение контролируется на протяжении всего отбора проб: производится отбор холостых проб — дистиллированной воды, воды, используемой для промывки металлического фильтра, и посуды для обработки пробы, реактива-фиксатора. Для контроля чистоты анализа соблюдались условия минимизации загрязнения пробы во время отбора, а именно: отбор проб проводился на палубе всего в нескольких метрах от помещения лаборатории, где обрабатывались пробы; пробы отбирались отдельно от каких-либо других палубных работ во избежание попадания загрязнений с одежды других сотруд-

ников; отбор и обработка проб проводились одним и тем же человеком в одной и той же (яркой) одежде с минимальным содержанием синтетических материалов. Фильтры проходили предварительную проверку под микроскопом на наличие посторонних волокон.

В течение первого этапа экспедиции с 30 июля по 6 сентября 2019 г. всего было отобрано 55 проб морской воды с подповерхностного горизонта (4,5 м). Общий объем профильтрованной морской воды составил 74 000 л (74 т). Отобранные пробы были доставлены в береговую лабораторию Российского государственного гидрометеорологического университета (РГГМУ), где производились многоступенчатая обработка проб и их анализ. Анализ проб воды требует максимального исключения внешних источников загрязнения микропластиком — волокон от синтетической одежды и т. д. Эти условия крайне сложно соблюдать на борту судна.

Лабораторный анализ проб

Анализ проб проводился согласно принятым в международной практике подходам к обработке проб [44; 49; 50] в условиях так называемой чистой лаборатории (clean lab). Для контроля загрязнения каждый день проводились визуальные исследования чистого (холостого) фильтра с помощью микроскопа непосредственно рядом с местом анализа пробы.

Образцы прошли первоначальную (термохимическую) обработку, которая состояла из очистки проб от органического материала с помощью так называемого реактива Фентона [51], минимально воздействующего на поверхность полимерной частицы и ее структуру: 30%-ной H_2O_2 и катализатора Fe(II) , а также 4,5%-ной соляной кислоты HCl для дополнительного растворения хитина и другого трудно-разлагаемого органического материала. Далее проводились просушка и при необходимости вторичная обработка проб при недостаточном растворении органического материала, фильтрация пробы и окончательная просушка (рис. 3), после чего производились визуальная идентификация и подсчет микро-частиц с помощью светового микроскопа.

После визуальной классификации (определения формы, размеров, цвета и типа частицы) все частицы были отобраны для дальнейшего определения химического состава и типа полимера с помощью рамановской спектроскопии, выбранной как оптимальный метод идентификации частиц в связи с их малым размером (от 100 мкм).

Результаты и выводы

Для предварительной оценки загрязнения микропластиком арктических и дальневосточных морей России было обработано 14 проб (по 2 пробы из каждого моря), отобранных на протяжении маршрута СМП (рис. 4). Полученные концентрации и общая характеристика микрочастиц представлены

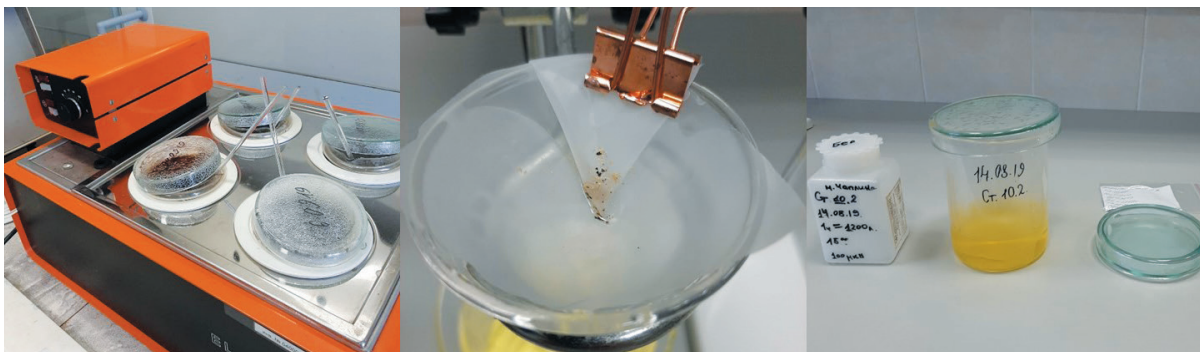


Рис. 3. Процесс термохимической обработки проб в лаборатории Российского государственного гидрометеорологического университета

Fig. 3. The process of thermochemical processing of samples in the laboratory of the Russian State Hydrometeorological University

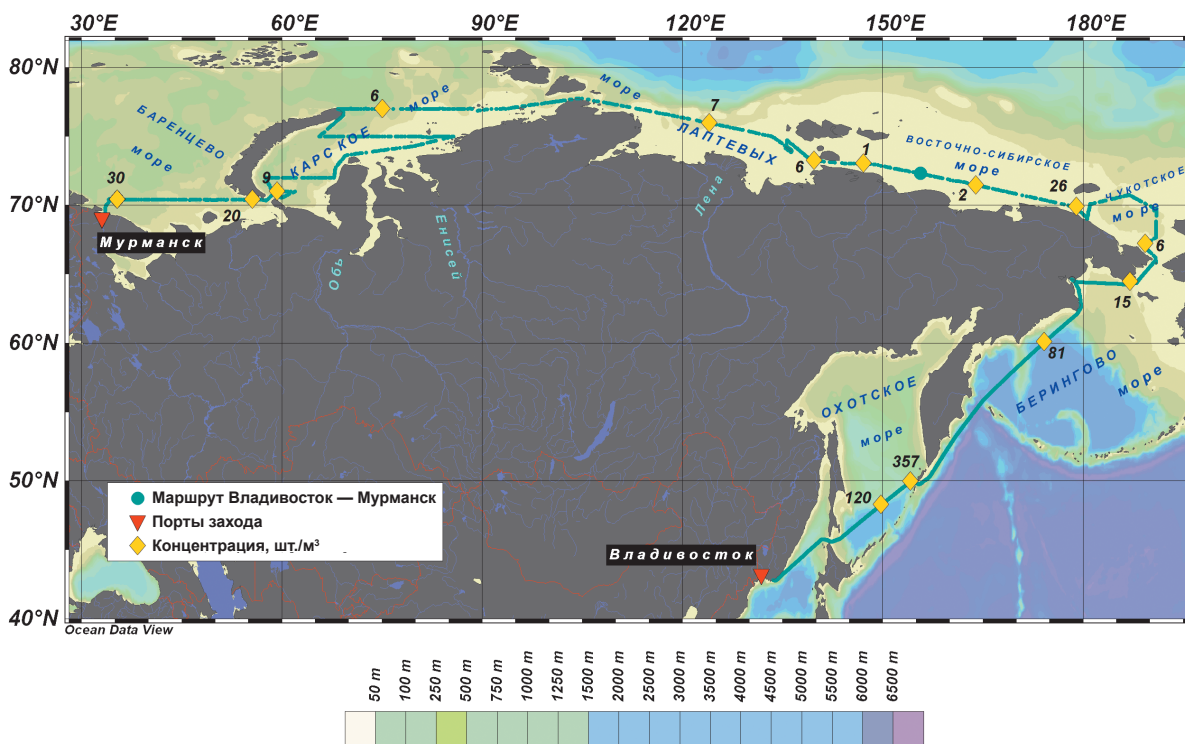


Рис. 4. Концентрации микрочастиц на станциях маршрута экспедиции «ТРАНСАРКТИКА-2019», шт./м³

Fig. 4. Concentrations of micro-particles at stations along the “TRANSARCTICA-2019” expedition route, pcs/m³

в табл. 1. По результатам количественной и качественной оценки содержания микропластиковых частиц в подповерхностном слое установлено, что их среднее содержание составляло 143 шт./м³ для тихоокеанского сектора СМП и 11,3 шт./м³ для морей российской Арктики. Самая большая концентрация микрочастиц, 357 шт./м³, была обнаружена в Охотском море, самая незначительная, 1 шт./м³, — в Восточно-Сибирском море (см. рис. 4).

В собранных пробах были найдены микропластики разных форм, размеров и цветов (см. табл. 1). Среди них можно выделить наиболее часто встречающиеся нитевидные прозрачные волокна, присутствовавшие в каждой из проб. Наибольшее разнообразие цветов и форм частиц найдено в морях с сильной

транспортной нагрузкой — Баренцевом, Карском и Охотском. Размер частиц варьировал от 100 до 3500 мкм. Примеры микропластика приведены на рис. 5.

В настоящее время еще не завершен полный анализ частиц с помощью рамановской спектроскопии для идентификации микропластиковых частиц и определения типа полимера, пигментов и других характеристик частиц, которые могут служить основой для достоверного определения их источника. Предварительный анализ показал, что значительная часть микропластика, найденных в пробах, — это полимеры типов полиэтилентерефталат PET, полипропилен PP и полиэтилен PE. Очевидно, что после завершения спектроскопии достоверная концентра-

Таблица 1. Содержание и характеристика микрочастиц в подповерхностном слое морской воды на маршруте Северного морского пути в 2019 г.

Станция	Число найденных частиц в пробе всего, шт.	Концентрация, шт./м ³	Размерный диапазон, мкм		Форма		Цвет частиц (серый = прозрачный)
			От	До	Волокна	Фрагмент	
Охотское море							
1	9	120	450	3000	9	0	
2	10	357	200	1700	9	1	
Берингово море							
1	14	81	500	2000	14	0	
2	7	15	1450	2500	7	0	
Чукотское море							
1	5	6	250	1100	5	0	
2	28	26	100	3050	27	1	
Восточно-Сибирское море							
1	4	2	700	2100	4	0	
2	1	1	—	2000	1	0	
Море Лаптевых							
1	9	6	400	3500	9	0	
2	14	7	300	3500	14	0	
Карское море							
1	10	6	200	1550	10	0	
2	16	9	200	12550	13	3	
Баренцево море							
1	38	20	100	3000	7	31	
2	92	30	450	2000	18	74	

ция настоящего микропластика снизится. Однако в данном исследовании показано, что большая часть микропластик имеет антропогенное происхождение: об этом говорят и форма, и цвет частиц (см. табл. 1), не свойственные природным волокнам, например целлюлозе. Также в ряде исследований отмечается, например в [48], что спектры целлюлозы и полусинтетической вискозы практически идентичны. Таким образом, микроволокна, даже определенные с помощью методов спектроскопии как целлюлоза, могут быть причислены именно к антропогенным волокнам.

Метод использования погружного судового насоса по наиболее близкой данному исследованию методике применяли ученые в районе архипелага Шпицберген в Баренцевом море, и полученная ими концентрация микропластика составила

2,46 шт./м³ [13]. Проведенные РГГМУ в 2019 г. исследования показали более высокие концентрации — 11,3 шт./м³, и в состав проб в большей их части входили микроволокна. Стоит отметить, что в [13] показано, что именно микроволокна представляют основную часть микропластиковых частиц в поверхностных слоях арктических вод как результат распада более крупных синтетических материалов. Это отходы судоходства — в первую очередь сбросы жидких бытовых отходов, отходы рыболовства — кусочки пластиковых сетей, а также сточные воды, принесенные течениями, и отходы с морских платформ [13].

Таким образом, предварительные результаты исследования показали, что на протяжении Северного морского пути концентрации микропластика варьи-

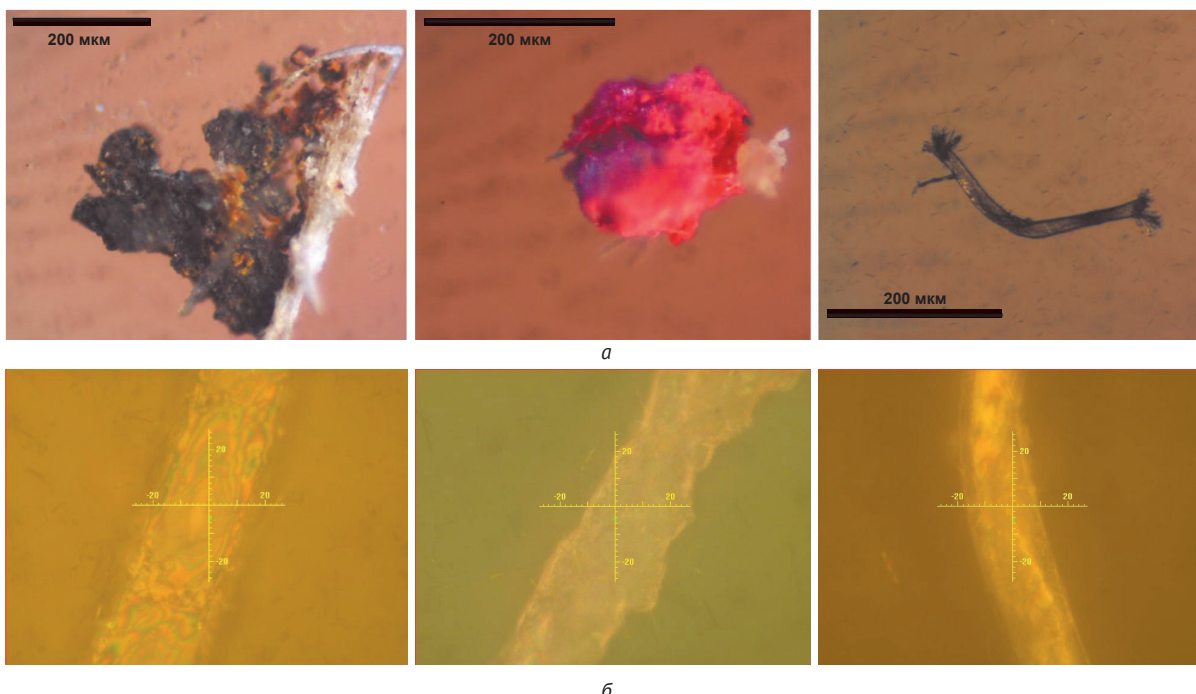


Рис. 5. Примеры микрочастиц: а – микропластиковые частицы из проб в Баренцевом море, 2019 г. (под микроскопом); б – частицы микропластика при съемке спектров на рамановском спектрометре (последовательно PET, PE, целлюлоза)
 Fig. 5. Examples of micro- particles: а – examples of micro-plastic particles from samples in the Barents Sea, 2019 (under the microscope); б – particles of micro-plastic at the Raman spectrometer measurement (sequentially PET, PE, cellulose)

руют в широких пределах: максимальные концентрации наблюдаются в дальневосточных морях.

Поскольку Охотское море богато биоресурсами, в нем активно развиваются рыболовство, добыча морепродуктов и производство лососевой икры. Также ведутся добыча, разведка нефти и газа, развито судоходство. Это позволяет предположить, что наибольшие концентрации микропластика, обнаруженные в подповерхностных водах Охотского моря, обусловлены активной хозяйственной деятельностью на акватории моря. Вместе с тем не следует исключать возможное влияние Тихого океана, а именно водообмен и поступление микропластика с тихоокеанскими течениями.

Летний навигационный период по СМП в 2019 г. начался в июле. Согласно данным информационного ресурса по СМП Northern Sea Route Information Office (<https://arctic-llo.com/nsr-shipping-traffic-activities-in-august-2019/>), судоходство в августе 2019 г. характеризовалось резким увеличением количества транзитных рейсов через СМП по сравнению с предыдущим месяцем. По суммарным численным показателям август 2019 г. оказался более активным месяцем по сравнению с августом 2018 г.: на 96 рейсов больше и на 36 судов по всему Северному морскому пути. Три наиболее часто посещаемых порта или портовых пункта на СМП — Сабетта, Певек и Карское море. При этом немного более половины (55%) заходов всех судов на СМП в 2019 г. пришлось на порт Сабетта. Всего по СМП в 2019 г. совершено 439 рейсов разной продолжительности (177 судов), из них боль-

шая часть — район Карского моря и Обской губы на маршруте до Мурманска и обратно. Таким образом, повышенные концентрации антропогенных микропластици, обнаруженные в Баренцевом море, могут быть объяснены в первую очередь высокой транспортной нагрузкой. Это предположение подтверждают находки частиц разнообразных форм и ярких цветов и наличие в них определяемых пигментов разных типов, присущих лакокрасочным материалам.

При сравнении полученных значений концентраций микропластици на СМП в 2019 г. с результатами других опубликованных исследований в арктическом регионе (см. табл. 2) видно, что в целом концентрации микропластика (МП) сильно зависят от слоя отбора воды (поверхностный или подповерхностный слой), от региона исследования, а также от близости к местным источникам загрязнения (например, к выпускам сточных вод). Видна высокая изменчивость концентраций, полученных разными методами. Так, недавние исследования показывают, что концентрации микропластика, полученные фильтровальными установками, могут быть в два-три раза выше [52], чем концентрации частиц в пробах, отобранных методами сетных ловов — манта-тралом и планктонными сетями (например, [13; 40]: концентрация МП повышается с уменьшением размера частицы [47]).

При этом использование методов отбора проб воды, позволяющих отбирать наименьшие фракции микропластици, позволяет избежать недооценки концентраций МП в водной среде. Именно фракции ме-

Таблица 2. Концентрации микропластика в разных районах Арктики и Дальнего Востока, шт./м³

Год проведения наблюдений	Регион	Метод отбора проб		Авторы исследования, ссылка
		Манта-трал (330 мкм)	Фильтровальные системы (< 200 мкм)	
2017	Центральная часть Северного Ледовитого океана		0,7, подповерхностный слой (проточная система)	Kanhai La Daana et al., 2018 [53]
2016	Северный Ледовитый океан, пролив Фрама (HAUSGARTEN)		113—262, поверхность (фильтровальная установка, 10 мкм)	Tekman M. B. et al., 2020 [52]
2017	Гренландское море		2,4, подповерхностный слой (проточная система)	Morgana S. et al., 2018 [54]
2019	Гренландское море	0,12 (сеть бонго)	142 (фильтровальная установка)	Rist S. et al., 2020 [47]
2014	Баренцево море (архипелаг Шпицберген)	0,34 (0—1,31)	2,68 (0—11,5), подповерхностный слой (проточная система)	Lusher A. L. et al., 2015 [13]
2018	Баренцево море Карское море Белое море (устье Северной Двины)	0,97—6,42 0,31—0,92 0,98—1		Tošić N. et al., 2020 [40]
2019	Арктические моря России (Баренцево, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское)		11,3 (1—30), подповерхностный слой (проточная система)	Настоящее исследование
2017	Тихоокеанский регион Чукотское море Берингово море	0,03 0,091 0,23		Mu J. et al., 2019 [55]
2019	Дальневосточные моря России (Охотское и Берингово)		143 (15—357), подповерхностный слой (проточная система)	Настоящее исследование

нее 300 мкм наиболее биологически доступны для организмов-фильтраторов.

Заключение

Проведенные исследования позволили отработать различные методические подходы, применяемые в международных научных группах для отбора проб воды на содержание микропластика и их лабораторного анализа, подобрать оптимальный метод для российской части Арктики и получить первые данные о загрязнении микрочастицами антропогенного происхождения морских вод на Северном морском пути во всех морях арктического и дальневосточного регионов России. Таким образом, удалось расширить имеющиеся представления о спектре размерностей микропластиковых частиц и получить предварительную оценку их состава. Анализ части собранных данных позволил установить, что среди арктических

морей самым чистым в отношении антропогенных микрочастиц оказались Восточно-Сибирское море и море Лаптевых, а самыми загрязненными — Баренцево море и моря Тихоокеанского сектора.

Большая часть микрочастиц, обнаруженных в арктических и дальневосточных морях, имеет антропогенное происхождение. Частицы выявленного типа — «волокна» — чаще всего являются компонентами синтетических (полиэстер) и полусинтетических (вискоза) материалов. Известно, что полимеры в сточных водах очистных сооружений чаще всего содержат полиэстер, который также известен как полиэтилентерефталат, полиэтилен, полипропилен и полиамид [57]. Возможным источником этих частиц (волокон), определенных в данном исследовании, могут быть сточные воды судов, поскольку отбор проб выполнялся по маршруту следования судов по Северному морскому пути, на

котором в период наблюдений осуществлялось интенсивное судоходство. Частицы неопределенного типа (фрагменты) ярких цветов указывают на их вероятную принадлежность к компонентам краски кораблей. Также важным источником полимерных частиц в морях Тихоокеанского сектора, где были зафиксированы максимальные концентрации микроволокон, являются рыболовные сети.

В целом можно заключить, что уровень загрязненности микропластиковыми частицами исследованных морей скорее всего связан с интенсивностью морской деятельности, осуществляемой на их акваториях. Однако вклад иных источников поступления микропластика — с атлантическими водами, стоком крупных сибирских рек, тихоокеанскими водами — еще предстоит оценить.

Исследования содержания микропластика в морской среде развиваются в мире очень активно: применяются различные методы отбора проб морской воды на содержание микропластиковых частиц. Сравнение проводимых исследований как за рубежом, так и в России показывает, что метод отбора проб на микропластик сильно зависит от типа водного объекта, его биологической продуктивности, уровня загрязненности, а также технических возможностей полевых исследований. Все это свидетельствует о необходимости интеркалибрации методик отбора проб и проведения дальнейших исследований для более точной количественной и качественной оценки микропластикового загрязнения арктических морей. Разработка унифицированной методики должна решить проблему сопоставимости данных измерений.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FSZU-2020-0009, тема «Исследование физических, химических и биологических процессов в атмосфере и гидросфере в условиях изменения климата и антропогенных воздействий».

Литература/References

1. Thompson R. C., Olsen Y., Mitchell R. P., Davis A., Rowland S. J., John A. W. G., McGonigle D., Russell A. E. Lost at sea: where is all the plastic? *Science*, 2004, vol. 304, p. 838.
2. Andrady A. L. *Plastics and the environment*. A. L. Andrady (ed.). [S. l.], John Wiley and Sons, 2003. ISBN 0-471-09520-6.
3. Reisser J. W., Slat B., Noble K., du Plessis K., Epp M., Proietti M. et al. The vertical distribution of buoyant plastics at sea: an observational study in the North Atlantic Gyre. *Biogeosciences*, 2015, 12, pp. 1249—1256.
4. Moore C. J. Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environ. Res.*, 2008, 108 (2), pp. 131—139.
5. Cincinelli A., Scopetani C., Chelazzi D., Lombardini E., Martellini T., Katsoyiannis A., Fossi M. C., Corsolini S. Mi-

croplastic in the surface waters of the Ross Sea (Antarctica): occurrence, distribution and characterization by FTIR. *Chemosphere*, 2017, 175, 391e400.

6. Lusher A. *Microplastics in the Marine Environment: Distribution, Interactions and Effects*. Marine anthropogenic litter. Eds.: M. Bergman, M. Klages and L. Gutow. [S. l.], Springer, 2015, pp. 245—308. DOI 10.1007/978-3-319-16510-3.

7. Mato Y., Isobe T., Takada H., Kanehiro H., Ohtake C., Kaminuma T. Plastic resin pellets as a transport medium of toxic chemicals in the marine environment. *Environ. Sci. Technol.*, 2001, 35, pp. 318—324.

8. Rios L. M., Moore C. Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Mar. Pollut. Bull.*, 2007, 54 (8), pp. 1230—1237.

9. Zarfl C., Matthies M. Are marine plastic particles transport vectors for organic pollutants to the Arctic? *Mar. Pollut. Bull.*, 2010, 60 (10), pp. 1810—1814.

10. Desktop Study on Marine Litter Including Microplastics in the Arctic. Protection of the Arctic marine environment. PAME. [S. l.], 2019.

11. Cózar A., Echevarría F., González-Gordillo J., Irigoien X., Úbeda B., Hernández-León S., Palma Á. T., Navarro S., García-de-Lomas J., Ruiz A. Plastic debris in the open ocean. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 2014, 111, pp. 10239—10244.

12. Cózar A., Martí E., Duarte C. M., García-de-Lomas J., Sebille E. V., Ballatore T. J., Eguíluz V. M., González-Gordillo J. I., Pedrotti M. L., Echevarría F., Troublè R., Irigoien X. 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), pp. 1—8. DOI: 10.1126/sciadv.1600582.

13. Lusher A. L. et al. Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples. *Sci. Rep.*, 2015, 5, 14947. DOI: 10.1038/srep14947.

14. Obbard R. W., Sadri S., Wong Y. Q., Khitun A. A., Baker I., Thompson R. C. Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice. *Earth's Future*, 2014, 2 (6), pp. 315—320.

15. Bergmann M. et al. White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic. *Science Advances*, 2019, 5 (8), eaax1157. Available at: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aax1157>.

16. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC. Geneva, Switzerland, 2014, 151 p.

17. Семилетов И. П., Пипко И. И. Стоки и источники двуокси углерода в Северном Ледовитом океане (по результатам прямых инструментальных измерений) // Докл. Акад. наук. — 2007. — Т. 414, № 3. — С. 393—397.

Semiletov I. P., Pipko I. I. Runoffs and sources of carbon dioxide in the Arctic Ocean (based on direct instrumental measurements). *Dokl. Akad. nauk*, 2007, vol. 414, no. 3, pp. 393—397. (In Russian).

18. Шахова Н. Е., Сергиенко В. И., Семилетов И. П. Цикл углерода в морях Восточной Арктики на рубеже XX—XXI веков. — Кн. 1: Транспорт и трансформация углерода в системе суша-шельф. — Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2017. — 535 с. Shakhova N. E., Sergienko V. I., Semiletov I. P. Carbon cycle in the seas of the Eastern Arctic at the turn of the XX—XXI centuries. В. 1. Transport and transformation of carbon in the land-shelf system. Tomsk, Ed. TPU, 2017, 535 p. (In Russian).
19. Матишов Г. Г., Денисов В. В., Дженюк С. Л., Макаревич П. Р. Большие морские экосистемы шельфовых морей российской Арктики // Наземные и морские экосистемы. — Мурманск: Паулсен, 2011. — С. 71—97. (Сер. «Вклад России в Междунар. поляр. год 2007/08»).
- Matishov G. G., Denisov V. V., Dzhenyuk S. L., Makarevich P. R. Large marine ecosystems of the shelf seas of the Russian Arctic. Land and marine ecosystems. Murmansk, Paulsen, 2011, pp. 71—97. (In Russian).
20. Van Sebille E., England M. H., Froyland G. Origin, dynamics and evolution of ocean garbage patches from observed surface drifters. *Environmental Research Letters*, 2012, 7, 044040.
21. Lebreton L. C. M., Greer S. D., Borrero J. C. Numerical modelling of floating debris in the world's oceans. *Mar. Pollut. Bull.*, 2012, 64, pp. 653—661.
22. Chubarenko I., Bagaev A., Zobkov M., Esiukova E. On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment. *Mar. Pollut. Bull.*, 2016, vol. 108, no. 1—2, pp. 105—112.
23. Chubarenko I., Esiukova E., Isachenko I., Demchenko N., Efimova I., Bagaeva M., Khatmullina L., Bagaev A., Zobkov M. Behavior of microplastics in coastal zones. *Microplastic Contamination in Aquatic Environments: An Emerging Matter of Environmental Urgency*. [S. l.], 2018, pp. 175—223.
24. Bagaev A., Khatmullina L., Chubarenko I. Anthropogenic microlitter in the Baltic Sea water column. *Mar. Pollut. Bull.*, 2018, vol. 129, no. 2, pp. 918—923.
25. Chubarenko I. P., Esiukova E. E., Bagaev A. V., Bagaeva M. A., Grave A. N. Three-dimensional distribution of anthropogenic microparticles in the body of sandy beaches. *Science of the total environment*, 2018, vol. 628—629, pp. 1340—1351. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.167>.
26. Esiukova E. Plastic contamination on the Baltic beaches of Kaliningrad region, Russia. *Mar. Pollut. Bull.*, 2017, vol. 114 (2), pp. 1072—1080. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.001>.
27. Chubarenko I., Stepanova N. MPs in sea coastal zone: Lessons learned from the Baltic amber. *Environ. Pollut.*, 2017, 224, pp. 243—254. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.085>.
28. Eremina T., Ershova A., Martin G., Shilin M. Marine litter monitoring: review for the Gulf of Finland coast. *IEEE/OES Baltic International Symposium (BALTIC)*. [S. l.], 2018, 8 p. DOI: 10.1109/BALTIC.2018.8634860.
29. Eremina T. R., Ershova A. A. Beached marine litter in the Russian part of the Gulf of Finland: monitoring methods and accumulation trends. From small scales to large scales — The Gulf of Finland Science Days 2019. [S. l.], 2019, p. 8.
30. Haseler M., Balciunas A., Hauk R., Sabaliauskaite V., Chubarenko I., Ershova A., Schernewski G. Marine Litter Pollution in Baltic Sea Beaches — Application of the Sand Rake Method. *Front. Environ. Sci.* 2020, 8, 599978. DOI: 10.3389/fenvs.2020.599978.
31. Ershova A. A., Eremina T. R., Chubarenko I. P., Esiukova E. E. Marine Litter in the Russian Gulf of Finland and South-East Baltic: Application of Different Methods of Beach Sand Sampling. *The Handbook of Environmental Chemistry*. Berlin, Heidelberg, Springer, 2021. Available at: https://doi.org/10.1007/698_2021_746.
32. Агаркова-Лях И. В., Сибирцова Е. Н. Адаптация метода гранулометрического анализа для изучения микропластикового загрязнения отложений прибрежной зоны моря // Принципы экологии. — 2019. — № 3 (33). — С. 155—162.
- Agarkova-Lyakh I. V., Sibirtsova E. N. Adaptation of the method of granulometric analysis for studying of microplastic pollution of deposits of a coastal zone of the sea. *Principles of the Ecology*, 2019, no. 3 (33), pp. 155—162. (In Russian).
33. Marine Litter in the Black Sea. Turkish Marine Research Foundation (TUDAV). Aytañ Ü., Pogojeva M., Simeonova A. (eds.). Publication no. 56. Istanbul, Turkey, 2020, 361 p.
34. Martyanov S. D., Ryabchenko V. A., Ershova A. A., Eremina T. R., Martin G. On the assessment of microplastic distribution in the Eastern part of the Gulf of Finland. *Fundamental and Applied Hydrophysics*, 2019, vol. 3, pp. 32—41. DOI: 10.7868/S207366731904004X.
35. Семилетов И. П. Основные результаты комплексной межрегиональной экспедиции на НИС «Академик Мстислав Келдыш»: новые данные об особенностях функционирования геосистем литосфера — гидросфера — криосфера — атмосфера в морях Восточной Арктики // Итоги экспедиционных исследований в 2019 году в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген: Материалы конференции. — Севастополь, 2020. — С. 51—52.
- Semiletov I. P. The main results of the integrated inter-regional expedition aboard the R / V Akademik Mstislav Keldysh: new data on the features of the functioning of the lithosphere — hydrosphere — cryosphere — atmosphere geosystems in the seas of the eastern Arctic. Results of expeditionary research in 2019 in the World Ocean, inland waters and on the Spitsbergen archipelago. Conference materials. Sevastopol, 2020, pp. 51—52. (In Russian).
36. Эршова А. А., Ерёмина Т. Р., Фролова Н. С., Тенилова О. В. Результаты гидрометеорологических исследований РГГМУ в Баренцевом, Карском и Белом морях в 2019 г. в рамках программы «Арктический плавучий университет» // Итоги экспедиционных ис-

- следований в 2019 г. в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген: Материалы конференции. — Севастополь, 2020. — С. 110—111. Ershova A. A., Eremina T. R., Frolova N. S., Tenilova O. V. Results of hydrometeorological studies of the RSHU in the Barents, Kara and White Seas in 2019 as part of the Arctic Floating University program. Results of expeditionary research in 2019 in the World Ocean, inland waters and on the Spitsbergen archipelago. Conference materials. Sevastopol, 2020, pp. 110—111. (In Russian).
37. Блиновская Я. Ю., Куликова О. А., Мазлова Е. А., Гаврило М. В. Микропластик в береговом грунте арктических и дальневосточных морей // Экология и пром-сть России. — 2020. — Т. 24, № 4. — С. 16—19. Blinovskaya Ya. Yu., Kulikova O. A., Mazlova E. A., Gavriilo M. V. Microplastic in the coastal soil of the Arctic and Far Eastern seas. *Ekologiya i prom-st' Rossii*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 16—19. (In Russian).
38. Блиновская Я. Ю., Якименко А. Л. Анализ загрязнения акватории залива Петра Великого (Японского моря) микропластиком // Успехи современ. естествознания. — 2018. — № 1. — С. 68—73. Blinovskaya Ya. Yu., Yakimenko A. L. Analysis of pollution of the water area of the Peter the Great Bay (Sea of Japan) with microplastics. *Uspekhi sovrem. yestestvoznaniya*, 2018, no. 1, pp. 68—73. (In Russian).
39. Vesman A., Moulin E., Egorova A., Zaikov K. Marine litter pollution on the Northern Island of the Novaya Zemlya archipelago. *Mar. Pollut. Bull.*, 2020, vol. 150, p. 110671.
40. Tošić N., Vrugink M., Vesman A. Microplastics quantification in surface waters of the Barents, Kara and White Seas. *Mar. Pollut. Bull.*, 2020, vol. 161, pt. A, p. 111745. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111745>.
41. Masura J., Baker J., Foster G., Courtney A. Laboratory methods for the analysis of MPs in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48, 2015, 31 p.
42. Galgani F., Hanke G., Werner S., Oosterbaan L., Nilsson P., Fleet D., Kinsey S., Van Franeker J., Vlachogianni T., Scoullou M., Mira Veiga J., Palatinus A., Matiddi M., Maes T., Korpinen S., Budziak A., Leslie H., Gago J., Liebez G. Guidance on monitoring of marine litter in European Seas. European Commission, Joint Research Centre. MSFD Technical Subgroup on Marine Litter (TG ML), 2013, no. EUR 26113, pp. 1—126.
43. Cole M., Webb H., Lindeque P. K., Fileman E. S., Halsband C., Galloway T. S. Isolation of microplastics in biota-rich seawater samples and marine organisms. *Scientific Reports*, 2014, 4 (4528).
44. Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson R., Thiel M. Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*, 2012, 46 (6), pp. 3060—3075. DOI: 10.1021/es2031505.
45. Jun-Li Xu, Thomas K., Luo Z., Gowen A. FTIR and Raman imaging for microplastics analysis: State of the art, challenges and prospects. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2019, vol. 119, p. 115629. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.115629>.
46. Макеева И. Н., Ершова А. А., Еремина Т. Р., Татаренко Ю. А. Исследование загрязнения микропластиком арктических морей // Моря России: исследования береговой и шельфовой зон: Тезисы докладов Всероссийской научной конференции (XXVIII береговая конференция). — Севастополь, 2020. — С. 397—398. Makeeva I. N., Ershova A. A., Eremina T. R., Tatarenko Yu. A. Research of microplastic pollution of the Arctic seas. Seas of Russia: Studies of the Coastal and Shelf Zones. Proc. All-Russian scientific conference (XXVIII Coastal Conference). Sevastopol, 2020, pp. 397—398. (In Russian).
47. Rist S., Vianello A., Sichlau Winding M. H., Nielsen T. G., Almeda R., Rodríguez Torres R., Vollertsen J. Quantification of plankton-sized microplastics in a productive coastal Arctic marine ecosystem. *Environ. Pollut.*, 2020, vol. 266, pt. 1, p. 115248. ISSN 0269-7491, Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115248>.
48. Lusher A. L., Burke A., O'Connor I., Officer R. Microplastic pollution in the Northeast Atlantic Ocean: validated and opportunistic sampling. *Mar. Pollut. Bull.*, 2014, 88 (1—2), pp. 325—333.
49. Зобков М. Б., Есюкова Е. Е. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов // Океанология. — 2018. — Т. 58, № 1. — С. 149—157. — DOI: 10.7868/S0030157418010148. Zobkov M. B., Esiukova E. E. Microplastics in the Marine Environment: Review of Methods of Selection, Preparation and Analysis of Samples of Water, Sediments and Coastal Sediments. *Oceanology*, 2018, vol. 58, no. 1, pp. 137—143. DOI: 10.1134/S0001437017060169.
50. Shim et al. Identification methods in microplastic analysis: a review. *Analytical methods*. Royal Society of Chemistry, 2017, 9, p. 1384. DOI: 10.1039/c6ay02558g.
51. Tagg A. S., Harrison J. P., Ju-Nam Y., Sapp M., Bradley E. L., Sinclair C. J., Ojeda J. J. Fenton's reagent for the rapid and efficient isolation of microplastics from wastewater. *Chem. Commun.*, 2017, 53, p. 372. DOI: 10.1039/c6cc08798a.
52. Tekman M. B., Wekerle C., Lorenz C., Primpke S., Hasemann C., Gerdtz G., Bergmann M. 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. *Env. Sci. & Technol.* 2020, 54 (7), pp. 4079—4090.
53. Kanhai La Daana, Gårdfeldt K., Lyashevskaya O., Hassellöv M., Thompson R. C., O'Connor I. Microplastics in sub-surface waters of the Arctic Central Basin. *Mar. Pollut. Bull.*, 2018, 130, pp. 8—18.

54. Morgana S., Ghigliotti L., Estévez-Calvar N., Stifanese R., Wieczorek 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, pp. 1078—1086.
55. Mu J., Zhang S., Qu L., Jin F., Fang C., Ma X., Zhang W., Wang J. Microplastics abundance and characteristics in surface waters from the Northwest Pacific, the Bering Sea, and the Chukchi Sea. *Mar. Pollut. Bull.*, 2019, 143, pp. 58—65. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.023>.
56. Magnusson K., Jörundsdóttir H., Norén F., Lloyd H., Talvitie J., Setälä O. Microlitter in sewage treatment systems A Nordic perspective on waste water treatment plants as pathways for microscopic anthropogenic particles to marine systems. *TemaNord report*, 2016, 510.
57. Talvitie J., Heinonen M., Paakkonen J.-P. et al. Do Wastewater Treatment Plants Act as a Potential Point Source of Microplastics? Preliminary Study in the Coastal Gulf of Finland, Baltic Sea. *Water Sci. Technol.*, 2015, 72 (9), pp. 1495—1504.

Информация об авторах

Ершова Александра Александровна, кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии, природопользования и экологической безопасности, заведующая Лабораторией исследования пластикового загрязнения природной среды ПластикЛаб, Российский государственный гидрометеорологический университет (192007, Россия, Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79), e-mail: ershova@rshu.ru.

Еремина Татьяна Рэмовна, кандидат физико-математических наук, доцент, директор, Институт гидрологии и океанологии, Российский государственный гидрометеорологический университет (192007, Россия, Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79), e-mail: tanya.er@gmail.com.

Дунаев Александр Леонидович, кандидат физико-математических наук.

Макеева Ирина Николаевна, инженер, Лаборатория исследования пластикового загрязнения природной среды ПластикЛаб, Российский государственный гидрометеорологический университет (192007, Россия, Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79).

Татаренко Юрий Алексеевич, заведующий Учебной лабораторией, ассистент кафедры океанологии, Российский государственный гидрометеорологический университет (192007, Россия, Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79).

Библиографическое описание данной статьи

Ершова А. А., Еремина Т. Р., Дунаев А. Л. и др. Исследование загрязнения микропластиком морей российской Арктики и Дальнего Востока // *Арктика: экология и экономика*. — 2021. — Т. 11, № 2. — С. 164—177. — DOI: 10.25283/2223-4594-2021-2-164-177.

STUDY OF MICRO-PLASTIC POLLUTION IN THE SEAS OF THE RUSSIAN ARCTIC AND THE FAR EAST

Ershova, A. A., Eremina, T. R.

Russian State Hydrometeorological University (St. Petersburg, Russian Federation)

Dunayev, A. L.

(Vladivostok, Russian Federation)

Makeeva, I. N., Tatarenko, Yu. A.

Russian State Hydrometeorological University (St. Petersburg, Russian Federation)

The article was received on December 29, 2020

Abstract

The pollution of the seas in the Russian Arctic zone with micro-plastic particles is poorly studied in comparison with other areas of the World Ocean. The rapidly developing economic activity in the Arctic region threatens to pollute the marine environment with plastic wastes. Arctic marine ecosystems are particularly vulnerable due to changes occurring in them under climate warming, as well as a large number of filter-feeder species in some

coastal areas. The lack of observation data on the level of micro-plastic pollution in the region and methodological support for sampling requires the development of methods and approaches using the existing international experience. The paper presents preliminary results of the study carried out within the framework of the 4th stage of the TRANSARCTICA-2019 program in the Far Eastern and Arctic seas from Vladivostok to Murmansk. The authors present the analysis of existing approaches to sampling in seawaters and the possibility of their application in Russian expeditionary conditions. They describe in detail their method of sampling from a subsurface level (4—5 m) showing the advantage of using the proposed method for sampling when the vessel is moving and under adverse weather conditions. The studied quantitative and qualitative composition of the detected micro-plastic particles show that the East Siberian and Laptev seas have the lowest concentrations of micro-plastics. The largest amount of micro-plastic particles is found in the areas of intensive shipping in the Sea of Okhotsk and the Barents Sea. Comparison with existing international studies shows that the sampling method for micro-plastics strongly depends on the type of water body, its biological productivity, the level of pollution, as well as the technical capabilities of field research. All this indicates the need for intercalibration of sampling methods and further research for a more accurate quantitative and qualitative assessment of the micro-plastic pollution in the Arctic seas.

Keywords: *micro-plastics, marine litter, Russian Arctic, Northern Sea Route, pollution.*

The work was implemented in frames of the State Assignment of the Ministry for science and higher education of the Russian Federation, project № FSZU-2020-0009, title: “Research of physical, chemical and biological processes in the atmosphere and hydrosphere under conditions of climate change and anthropogenic impacts”.

Information about the authors

Ershova, Alexandra Alexandrovna, PhD of Geography, Associate Professor of the Department of Geoecology, Nature Management and Environmental Safety, Head of the Laboratory for Plastic Pollution Research PlasticLab, Russian State Hydrometeorological University (79, Voronezhskaya st., St. Petersburg, Russia, 192007), e-mail: ershova@rshu.ru.

Eremina, Tatyana Removna, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Hydrology and Oceanology, Russian State Hydrometeorological University (79, Voronezhskaya st., St. Petersburg, Russia, 192007), e-mail: tanya.er@gmail.com.

Dunayev, Alexander Leonidovich, PhD of Physical and Mathematical Sciences.

Makeeva, Irina Nikolaevna, Engineer of the Laboratory for Plastic Pollution Research PlasticLab, Russian State Hydrometeorological University (79, Voronezhskaya st., St. Petersburg, Russia, 192007).

Tatarenko, Yuri Alekseevich, Head of the Educational Laboratory, Assistant of the Department of Oceanology, Russian State Hydrometeorological University (79, Voronezhskaya st., St. Petersburg, Russia, 192007).

Bibliographic description of the article

Ershova, A. A., Eremina, T. R., Dunayev, A. L., Makeeva, I. N., Tatarenko, Yu. A. Study of microplastic pollution in the seas of the Russian Arctic and the Far East. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2021, vol. 11, no. 2, pp. 164—177. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-2-164-177. (In Russian).

© Ershova A. A., Eremina T. R., Dunayev A. L., Makeeva I. N., Tatarenko Yu. A., 2021