

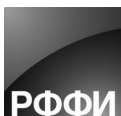
Российская академия наук  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова

**И.П. Чубаренко, Е.Е. Есюкова, Л.И. Хатмуллина,  
О.И. Лобчук, И.А. Исаченко, Т.В. Буканова**

# **МИКРОПЛАСТИК В МОРСКОЙ СРЕДЕ**

Москва  
Научный мир  
2021

УДК 550.4.08  
ББК 20.171  
Ч 81



Издание осуществлено при финансовой поддержке  
Российского фонда фундаментальных исследований  
по проекту № 21-15-00007. Не подлежит продаже.

*Рецензенты:*

Я.Ю. Блиновская, проф., д-р техн. наук,  
Дальневосточный федеральный университет  
А.Г. Зацепин, д-р физ.-мат. наук,  
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Чубаренко, И.П.

Ч 81 Микропластик в морской среде : монография / И.П. Чубаренко, Е.Е. Есюкова, Л.И. Хатмуллина, О.И. Лобчук, И.А. Исаченко, Т.В. Буканова. Москва : Научный мир, 2021. – 520 с. : 20 с. цв. ил.

ISBN 978-5-91522-513-7

Мелкие частицы пластика (микропластик (МП), < 5 мм) обнаружены в Мировом океане повсеместно, от поверхности до дна, от льдов Арктики до вод Антарктики. Их свойства отличаются от свойств естественных частиц и при этом заметно изменяются со временем пребывания в окружающей среде, поэтому описание переноса микропластика в океане и закономерностей его накопления требуют дополнительных, целенаправленных и глубоко междисциплинарных усилий.

В книге приводятся современные сведения об уровне загрязнения Мирового океана пластиком и наблюдаемых свойствах частиц морского микропластика, о простых аналитических моделях их описания и разработке параметризаций на базе лабораторных экспериментов. Обобщены результаты натурных исследований загрязнения микропластиком водной толщи, донных и пляжевых отложений Балтийского моря, приведено детальное описание используемых методов отбора и обработки проб, экстракции и идентификации частиц микропластика.

Издание рассчитано на ученых океанологов, а также студентов и аспирантов соответствующих специальностей, но будет полезно и самому широкому кругу читателей, показывая невероятную уязвимость природной среды нашей маленькой планеты.

УДК 550.4.08  
ББК 20.171

ISBN 978-5-91522-513-7

© Чубаренко И.П., Есюкова Е.Е., Хатмуллина Л.И.,  
Лобчук О.И., Исаченко И.А., Буканова Т.В., 2021  
© Оформление. Издательство «Научный мир», 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Предисловие .....</b>                                                                                    | <b>7</b>  |
| <b>Введение.....</b>                                                                                        | <b>11</b> |
| <b>Часть I. Мировой океан пластика .....</b>                                                                | <b>15</b> |
| <b>Глава 1. Пластик и микропластик в морской среде .....</b>                                                | <b>17</b> |
| § 1.1. Общая картина загрязнения Мирового океана пластиком .....                                            | 17        |
| § 1.2. Размерные классы пластикового мусора и источники морского<br>микропластика .....                     | 25        |
| § 1.3. Потенциальные угрозы окружающей среде и человеку .....                                               | 30        |
| § 1.4. Пластик как материал: структура молекул и общие физические<br>свойства синтетических полимеров ..... | 37        |
| <b>Глава 2. Наблюдаемые свойства частиц морского микропластика .....</b>                                    | <b>50</b> |
| § 2.1. Размеры частиц МП и их распределение .....                                                           | 52        |
| § 2.2. Распределение видов полимеров в морской среде .....                                                  | 61        |
| § 2.3. Форма и текстура поверхности частиц МП.....                                                          | 65        |
| § 2.4. Цвет.....                                                                                            | 71        |
| <b>Глава 3. Изменение свойств частиц микропластика со временем .....</b>                                    | <b>74</b> |
| § 3.1. Деградация: старение материала, фрагментация, минерализация .....                                    | 74        |
| § 3.2. Биообрастание .....                                                                                  | 80        |
| § 3.3. Агрегация .....                                                                                      | 83        |
| § 3.4. Интегральная плотность частиц МП в окружающей среде .....                                            | 87        |
| <b>Часть II. Упрощённые теоретические модели описания свойств<br/>        частиц микропластика .....</b>    | <b>89</b> |
| <b>Глава 4. Простые балансовые и геометрические модели отдельной<br/>        частицы .....</b>              | <b>91</b> |
| § 4.1. Парусность, горизонтальный перенос ветром .....                                                      | 91        |
| § 4.2. Биообрастание частиц разной формы .....                                                              | 95        |
| § 4.3. Оседание частицы в неподвижной жидкости .....                                                        | 96        |

|                                                                                                                      |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Глава 5. Упрощённые модели распределений форм, плотностей и размеров частиц микропластика .....</b>               | <b>99</b>  |
| § 5.1. Модель распределения размеров частиц МП.....                                                                  | 99         |
| § 5.2. Модель распределения форм частиц МП .....                                                                     | 100        |
| § 5.3. Модель распределения плотностей частиц МП .....                                                               | 101        |
| <b>Глава 6. Моделирование вероятностного распределения терминальной скорости оседания частиц микропластика .....</b> | <b>103</b> |
| § 6.1. Постановка задачи и исходные посылки.....                                                                     | 103        |
| § 6.2. Учёт распределений частиц МП по размеру, плотности и форме .....                                              | 105        |
| § 6.3. Распределение терминальных скоростей оседания и всплытия .....                                                | 105        |
| <b>Часть III. Лабораторный эксперимент и разработка параметризаций .....</b>                                         | <b>109</b> |
| <b>Глава 7. Оседание частиц микропластика в морской среде.....</b>                                                   | <b>111</b> |
| § 7.1. Предельная скорость оседания (гидравлическая крупность) частицы: теоретические предпосылки.....               | 112        |
| § 7.2. Измерение вертикальных скоростей оседания и всплытия частиц МП ..                                             | 119        |
| § 7.3. Характер движения частиц МП и полуэмпирические зависимости .....                                              | 125        |
| § 7.4. Процессы, влияющие на оседание частиц МП в условиях реальной морской среды.....                               | 133        |
| <b>Глава 8. Подходы к исследованию взмучивания и переноса частиц МП в придонном слое .....</b>                       | <b>142</b> |
| § 8.1. Общие положения.....                                                                                          | 142        |
| § 8.2. Перенос микропластикового загрязнения в каньоне Назарé .....                                                  | 144        |
| § 8.3. Эрозия частиц МП по сравнению с естественным осадком .....                                                    | 146        |
| § 8.4. Перенос и захоронение МП в глубоководных отложениях мутьевыми потоками.....                                   | 149        |
| § 8.5. Наблюдение особенностей движения частиц МП различных форм на дне с различной шероховатостью .....             | 150        |
| § 8.6. Заключительные замечания .....                                                                                | 152        |
| <b>Глава 9. Фрагментация пластика в прибойной зоне моря .....</b>                                                    | <b>154</b> |
| § 9.1. Механическая фрагментация пластика в условиях окружающей среды: состояние исследований.....                   | 155        |
| § 9.2. Постановка задачи и методика проведения экспериментов .....                                                   | 157        |
| § 9.3. Генерация МП в прибойной зоне с различными типами пляжевых отложений.....                                     | 164        |
| § 9.4. Фрагментация различных видов пластика в прибойной зоне с грубым осадком: развитие процесса во времени .....   | 170        |
| § 9.5. От лабораторного эксперимента – к приложениям.....                                                            | 186        |

**Часть IV. Натурные наблюдения в Балтийском море..... 197****Глава 10. Распределение пластикового мусора по поверхности и в теле пляжа ..... 201**

- § 10.1. Уровень загрязнения, происхождение и пространственное распределение морского мусора на пляжах и в прибрежной зоне Литвы ..... 202
- § 10.2. Сравнение методов OSPAR, рамок (Frame-метод) и граблей (Rake-метод) на пляжах Германии и Литвы..... 204
- § 10.3. Программа мониторинга пляжей методом OSPAR на побережье Германии (остров Рюген) ..... 212
- § 10.4. Сигаретные фильтры и окурки на пляжах Балтийского моря ..... 216
- § 10.5. Оценка загрязнения морским мусором побережий Калининградской области (Россия) с использованием метода OSPAR..... 221
- § 10.6. Пластик и микропластик на песчаных пляжах Юго-Восточной Балтики (Калининградская область, Россия)..... 225
- § 10.7. Трёхмерное распределение антропогенных микрочастиц в толще песчаных пляжей ..... 230
- § 10.8. Национальный парк «Куршская коса»..... 238
- § 10.9. Новый источник загрязнения морской среды пластиковым мусором: геосинтетические материалы ..... 245

**Глава 11. Микропластик в водной толще Балтийского моря..... 251**

- § 11.1. Современное состояние исследований ..... 251
- § 11.2. Микропластик и микромусор в водной толще собственно Балтийского моря ..... 254
- § 11.3. Вариации содержания микропластика в водной толще стратифицированного Балтийского моря: исследования с использованием нового прибора PLEX для отбора проб ..... 262

**Глава 12. Микропластик в донных осадках Балтийского моря ..... 279**

- § 12.1. Современное состояние исследований ..... 279
- § 12.2. Микропластик в донных отложениях Юго-Восточной Балтики: методика количественного определения МП и первые результаты..... 285
- § 12.3. Эффективность извлечения микропластика из донных отложений Балтийского моря с помощью мюнхенского сепаратора ..... 299
- § 12.4. Данные о загрязнении микропластиком проб донных отложений Балтийского моря в 2015–2016 годах ..... 313

**Часть V. Методики: отбор проб, пробоподготовка, экстракция, идентификация ..... 321****Глава 13. Методы отбора проб ..... 323**

|                                                                                                                                     |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| § 13.1. Водная толща .....                                                                                                          | 325        |
| § 13.2. пляжевые отложения.....                                                                                                     | 331        |
| § 13.3. Донные отложения .....                                                                                                      | 337        |
| <b>Глава 14. Этапы и методики экстракции частиц МП из проб.....</b>                                                                 | <b>339</b> |
| § 14.1. Консервация, хранение проб .....                                                                                            | 339        |
| § 14.2. Контроль качества .....                                                                                                     | 341        |
| § 14.3. Пробоподготовка, основные этапы экстракции частиц МП.....                                                                   | 343        |
| <b>Глава 15. Методы анализа МП.....</b>                                                                                             | <b>353</b> |
| § 15.1. Идентификация МП.....                                                                                                       | 353        |
| § 15.2. Физико-химические характеристики .....                                                                                      | 355        |
| § 15.3. Определение химического состава МП и вида полимера.....                                                                     | 358        |
| § 15.4. Выражение количественного содержания частиц МП в образцах<br>пляжевых отложений, в водном столбе, в донных отложениях ..... | 360        |
| <b>Заключение: Одноразовая планета? .....</b>                                                                                       | <b>363</b> |
| <b>Библиографический список.....</b>                                                                                                | <b>365</b> |
| <b>Приложения.....</b>                                                                                                              | <b>435</b> |
| <b>Предметный указатель .....</b>                                                                                                   | <b>497</b> |

---

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Синтетические полимеры, в том числе пластик, вошли в нашу повседневную жизнь всего 60–70 лет назад – лёгкие и дешёвые материалы, с огромным спектром самых нужных свойств. Но их прочность, химическая инертность, устойчивость к воде и свету, помноженные на легкомыслие человека эпохи потребления, сыграли злую шутку со всей планетой – пластик в окружающей среде теперь с нами навсегда, и Мировой океан становится его главным накопителем. Сегодня мелкие частицы пластика (микропластик, <5 мм) обнаруживаются повсюду: во льдах Арктики и на пляжах необитаемых островов, в воздухе городов и в осадках глубоководных впадин, в водах труднодоступных северных озёр и горных рек... Пространственно-временные масштабы возможных последствий пластикового загрязнения оказываются примерно такими же, как и масштабы глобальных проблем изменения климата – это всепланетный охват и сотни лет.

Оказалось, что пластик, в отличие от других материалов, производимых человеком – металла, бетона, стекла, керамики, – ещё и активно взаимодействует с биотой: одни живые организмы используют его поверхность как удобный субстрат для колонизации, другие – как средство передвижения с океанскими течениями на сотни и тысячи километров, третьи – как привлекательный корм для себя и потомства. Чем это может грозить Жизни и Человеку? На данный момент ответа у нас нет, а зачастую даже не поставлены и сами вопросы. Обращаясь к истории развития наук о Мировом океане, можно сказать, что сегодня исследования пластика в морской среде находятся ещё на этапе «географических открытий» и отдельные наблюдения пока складываются в довольно пёструю картину.

Микропластик – понятие собирательное. Свойства частиц микропластика не только разнообразны и специфичны, но и изменяются со временем пребывания в морской среде, причём изменяются в зависимости как от внешних условий (и абиотических, и биотических), встречаемых каждой конкретной частицей, так и от её собственных свойств – формы, размера, цвета, химического состава, состояния поверхности, степени кристалличности материала и многого другого. Многие аспекты изменения свойств, переноса, накопления нового вида загрязнения носят существенно комплексный характер, требующий одновременного учёта и физических, и химических, и биологических факторов.

В этой книге затронута только небольшая часть вопросов – из числа тех, по которым удалось к настоящему времени достичь некоторого понимания. Более того, в силу научной специализации авторов явное предпочтение отдано задачам физической

океанографии. Некоторую общую информацию по вопросам биологического и химического характера, почерпнутую главным образом из публикаций, читатель может найти только в начальных главах книги и в её конце – в разделе, посвящённом методам исследований.

Ещё одно ограничение, добровольно наложенное на себя авторами: в книге не затронута тема численного моделирования переноса и накопления частиц микропластика в морях и океанах. Имея одновременно и опыт численного моделирования в физической океанографии, и опыт работы с реальным морским микропластиком, мы ясно осознаём трудности стандартных подходов в симуляции поведения в морской среде таких специфических объектов. Поэтому главные усилия наших исследований направлены на (1) натурные наблюдения распределения и характеристик частиц микропластика в морской среде, (2) их формализацию и (3) разработку параметризаций специфических свойств частиц морского микропластика и их изменений со временем «жизни» частицы в морской среде. Надеемся, что представленные результаты будут полезны коллегам, аспирантам, студентам самых различных научных специальностей.

Согласно логике изложения, материал разделён на пять частей: от общих вопросов и обзора публикаций – через аналитические модели и лабораторный эксперимент – к натурным наблюдениям и методикам исследований. Каждая из частей включает несколько глав, разделённых на параграфы. Для глав принята сквозная нумерация ( $N$ , от 1 до 15), параграфы внутри главы нумеруются последовательно в формате  $N.m$ , а нумерация рисунков, таблиц и формул даётся в формате  $N.m.k$ , где  $N.m$  – номер параграфа в главе  $N$ ,  $k$  – номер рисунка, таблицы или формулы внутри него. Таким образом, например, рисунок 5.3.1 – это первый рисунок параграфа 5.3, находящегося в главе 5. К номерам рисунков и таблиц, вынесенных на цветную вклейку и в приложение, добавлены обозначения ВК и П соответственно. При наименовании пластиков используются их международные аббревиатуры (например, LDPE, PS, PVC), расшифровка которых дана в таблице 1.1П (в Приложении).

Во введении и части I сделан обзор общих сведений по проблеме загрязнения Мирового океана пластиковыми отходами. Объёмы мирового производства синтетических полимеров и поступления пластиковых отходов в океан, распределение плавающего на поверхности мусора позволяют охарактеризовать главные источники и механизмы генерации микропластика. Обсуждаются потенциальные угрозы окружающей среде и человеку. Приводятся основные сведения о пластике как о материале. Главы 2 и 3 обобщают информацию о свойствах частиц микропластика, реально наблюдаемых в морской среде, а также о механизмах изменения этих свойств со временем.

В части II представлены простые аналитические модели описания свойств частиц микропластика. Они включают как простые балансовые и геометрические модели отдельной частицы (глава 4), так и варианты учёта распределений свойств частиц по размерам, форме и плотности (глава 5). В главе 6 приведены результаты моделирования вероятностного распределения терминальной скорости оседания/всплытия частиц микропластика, полученные на основе распределений свойств частиц по размеру, плотности и форме.

Часть III посвящена результатам лабораторных экспериментов. Рассматривается задача об оседании частиц микропластика различных форм, в том числе синтетических волокон (глава 7). Обсуждаются подходы и имеющиеся экспериментальные данные о взмучивании частиц микропластика различных форм со дна, покрытого естественным осадком (глава 8). Детально изложены результаты серий экспериментов по фрагментации различных видов пластика в прибойной зоне, а также примеры применения полученных зависимостей для описания интенсивности генерации частиц микропластика на песчаных и галечных берегах, при развитии шторма, для случая галечного мыса в окружении песчаных участков берега (глава 9).

Натурные наблюдения загрязнения микропластиком в регионе Балтийского моря – на его пляжах, в водной толще и донных осадках – представлены в части IV. Мы сочли важным включение информации по загрязнению пляжей морским антропогенным мусором, поскольку именно он является самым существенным источником микропластика. Отсутствие стандартизованных методов исследований – сегодня одна из главных проблем «пластиковой науки», поэтому им уделено повышенное внимание.

Часть V, мы надеемся, будет востребована практиками: в ней суммируется информация о применяемых сегодня методах отбора проб воды, донного осадка и пляжевых отложений на содержание частиц микропластика, о методиках пробоподготовки, об этапах экстракции и методах идентификации. Приводятся требования по контролю внешнего загрязнения, варианты представления результата в различных единицах измерения и прочие «мелочи», определяющие качество конечного результата и возможность его сравнения с другими исследованиями. В приложение вынесена информация, для которой удобна табличная форма её представления.

Как проведение исследований, так и написание книги – это глубоко совместная работа авторского коллектива. Тем не менее лидирующие роли соавторов при написании различных глав распределились в соответствии с направлениями основных научных интересов каждого. Синтез натурных наблюдений загрязнения микропластиком в Балтийском море (глава 10) и описание методик работы (главы 11–15) подготовлены Еленой Евгеньевной Есюковой. Исследование вопросов оседания частиц микропластика (глава 7), включая анализ публикаций, посвящённых вопросам их биообрастания и агрегации с частицами органической и минеральной взвеси (в главе 3), выполнено Лилией Ильдусовной Хатмуллиной. Проведение мониторинга морского мусора по методикам OSPAR на побережье Калининградской области и оценка его результатов в контексте загрязнения пляжей Балтийского моря (глава 10) – вклад Ольги Ивановны Лобчук. Описание аналитических моделей отдельной частицы и распределения свойств частиц микропластика (главы 4–6), обзор лабораторных экспериментов по их взмучиванию (глава 8) подготовлены Игорем Александровичем Исаченко. При написании остальных глав важную роль играло многократное обсуждение материала, так что все авторы несут равную ответственность за результат. Самая трудоёмкая часть подготовки рукописи к изданию – работа с иллюстрациями – выполнена Татьяной Васильевной Букановой.

Авторы выражают искреннюю благодарность коллегам, вместе с которыми были получены и опубликованы представленные в книге результаты: канд. физ.-мат. наук А.В. Багаеву и канд. физ.-мат. наук А.И. Мизюку (Морской гидрофизический институт,

Севастополь), канд. техн. наук М.Б. Зобкову (Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН, Петрозаводск), канд. физ.-мат. наук А.Ю. Зюбину (Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград), И.В. Ефимовой, А.Е. Куприяновой, а также многим коллегам, участвовавшим в экспедициях и обработке проб. Большую помощь в подготовке рукописи к печати оказала Н.Н. Мартынюк.

При подготовке книги использовались результаты, полученные авторами при работе над проектами РНФ (15-17-10020, 19-17-00041), РФФИ (18-55-76001, 18-55-76002, 18-35-00553, 19-35-50028; 19-45-393006), 22805/2019 (MOTION, the Swedish Institute) и в рамках рабочей группы SCOR WG 153 (FLOTSAM).

---

---

## ВВЕДЕНИЕ

«Материал XXI века» – именно так говорили о новом продукте нефтехимии, пластике, в середине века XX, когда начиналось его массовое производство. Широкому применению предшествовали почти 100 лет экспериментов по созданию пластических материалов различного назначения: от основанных на природных полимерах паркезина англичанина Александра Паркса (1855 г.), ксилонита Даниэля Спилла и целлулоида Джона Уэсли Хайата до работ американского химика бельгийского происхождения Лео Бакеланда и его промышленного пластика бакелита (патент 1909 г.), состоящего из синтетических молекул. В результате оказалось возможным недорогое производство из доступного сырья (угля, нефти, газа) материалов с огромным спектром свойств: от тонких плёнок до прочных бамперов машин, от невесомого строительного теплоизолятора до разнообразных текстильных волокон. Прочность, лёгкость, химическая инертность – и вот уже промышленное производство, медицина, быт стали немыслимы без пластиковых изделий, а мировое производство пластика в 2018 г. достигло почти 360 млн т в год [Plastics Europe, 2019]. Для осознания масштабов производства заметим, что общий вес 7.6 млрд жителей Земли в том же году составлял примерно 610 млн т. Таким образом, каждый год человечество производит более половины своего веса синтетических полимеров – материалов, период деградации которых в природных условиях исчисляется столетиями. По оценкам, с начала массового производства синтетических полимеров в 1950-х гг. общий объём выброса в морскую среду только плавучих пластмасс составил десятки миллионов тонн [Geyer et al., 2017; Jambeck et al., 2015]. Очевидно, что паркезин, бакелит и все их более современные последователи, попавшие за 70 лет «пластиковой эры» в окружающую среду, до сих пор в ней находятся. Объём пластика в окружающей среде пополняется нарастающими темпами, причём в значительной мере это происходит за счёт изделий с очень коротким сроком полезной службы – одноразовой посуды, полиэтиленовых пакетов, разнообразной тары и упаковки.

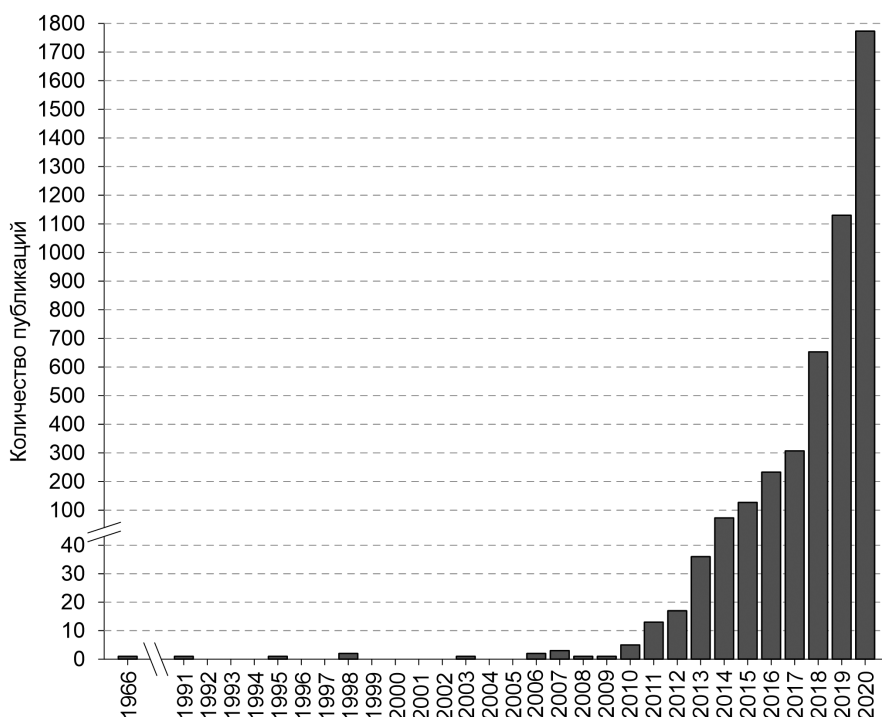
О присутствии пластика в Мировом океане и связанной с этим потенциальной угрозой морским организмам впервые заговорили ещё в конце 40-х гг. прошлого века, описывая случаи запутывания птиц и морских млекопитающих в сетях, пакетах и прочем мусоре (см., например, [Jacobson, 1947]). В конце 60-х гг. прошлого века исследователи обратили внимание на присутствие пластика в пище морских обитателей, обнаружив его, в частности, в содержимом желудков 74% особей тихоокеанских альбатросов и их птенцов [Kenyon, Kridler, 1969]. В 1972 г. Эдвард Карпентер и Кеннет Смит (Woods Hole Oceanographic Institution, USA) в своей статье в журнале

*Science* представили результаты исследований в Саргассовом море. Они обнаружили около 3.5 тыс. пластиковых частиц (большей частью пеллет – пластиковых гранул диаметром 0.25–0.5 см, используемых в дальнейшем для производства пластиковых изделий) на квадратный километр морской поверхности [Carpenter, Smith, 1972]. Уже тогда, при обсуждении разрушающейся в окружающей среде поверхности собранных пеллет, у авторов возникли вопросы о возможном токсическом влиянии на биоту пластификаторов, стабилизаторов, красителей и других добавок, относительно легко выделяющихся из (инертного в целом) пластика. Помимо этого вскоре было показано, что, в отличие от других материалов, производимых человеком, например стекла, металла, керамики, синтетические полимеры оказываются включены в самые разные аспекты жизни биоты: кому-то шероховатая поверхность предоставляет комфортную новую среду обитания, кому-то служит средством передвижения на сотни километров, кому-то – привлекательной «пищей»...

Также в *Science*, уже в 2004 г. вышла ещё одна важная работа по этой проблеме. Ричард Томпсон (University of Plymouth, UK) с коллегами обнаружил мелкие частицы пластика (в основном волокна диаметром ~20 мкм) в осадках пляжей и подводного склона, а также в образцах планктона, отбирившихся в ходе регулярного мониторинга с 1960-х гг. [Thompson et al., 2004]. По результатам анализа оказалось, что рост загрязнения со временем соответствовал увеличению объёмов производства синтетических волокон, указывая на вероятное усугубление проблемы в перспективе. Именно в этой статье авторы, обсуждая «микроскопический пластиковый мусор» (*microscopic plastic debris*), впервые предложили как его сокращение термин «микропластик» (*microplastics*). С этого времени количество работ, посвящённых распределению, переносу, накоплению, влиянию микропластика на живые организмы, растёт экспоненциально, к настоящему времени превысив тысячу научных статей в год (рис. 1).

Термин «микропластик» в русском языке стал применяться сравнительно недавно, и даже в научной литературе можно встретить различные варианты его использования. В этой книге мы будем употреблять термин «микропластик» в единственном числе, имея в виду собирательное значение слова, аналогично, например, морскому мусору. Характеризуя свойства конкретных частиц, мы будем говорить о «частицах микропластика», что соответствует правилам использования существительных, имеющих значение собирательности, в русском языке.

К настоящему времени присутствие пластикового мусора подтверждено во всех морских средах: от береговой линии до открытого океана (например, [Barnes et al., 2009]), от поверхности моря до морского дна [Schluning et al., 2013], в глубоководных отложениях [Woodall et al., 2014], в реках, озёрах и даже в арктических льдах [Obbard et al., 2014]. А также и в пресноводных озёрах, в свежем снеге, городском воздухе, в пищевой соли, питьевой воде, морепродуктах... Последствия этого для равновесия экосистем, жизнедеятельности живых организмов и человека пока неясны, но проникновение пластика в пищевые цепи и быстрый перенос океанскими течениями не могут не вызывать опасений. На нынешнем этапе, параллельно процессу «географических открытий», разрабатываются методики отбора и обработки проб на содержание микропластика, продолжается их унификация, позволяющая проводить сопоставление результатов разных исследований и дальнейший анализ.



**Рис. 1.** Ежегодное количество публикаций (статьи и обзоры), посвящённых изучению микропластика. По результатам поиска в базе данных Scopus в разделе «Науки об окружающей среде» по ключевому слову микропластик (до 1 января 2021 г.)

Однако слишком многие вопросы пока остаются без ответа, более того – часто они ещё даже не сформулированы должным образом. Условно их можно разделить на три группы: (1) каковы пути и механизмы переноса и накопления пластика в окружающей среде? (2) насколько он опасен для биоты? и (3) что нам с этим делать? В этой книге представлены отдельные исследования, относящиеся только к первой группе «вопросов XXI века» к пластиковому загрязнению окружающей среды.