



## Пластик в биосфере – риски биоте и здоровью населения России

А.Н. Кизеев, С.А. Сюрин

ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора,  
2-я Советская ул., д. 4, г. Санкт-Петербург, 191036, Российская Федерация

### Резюме

**Введение.** Рост производства пластика при его недостаточной утилизации привел к глобальному загрязнению окружающей среды и рискам биоте и здоровью человека.

**Цель исследования** – анализ данных научной литературы о создаваемых пластиком рисках для биоты и здоровья населения России.

**Материалы и методы.** Исследованы научные публикации, индексируемые в международных (Web of Science, Scopus, PubMed) и в отечественной (РИНЦ) базах данных за 2012–2022 годы. Отбор литературных источников осуществлялся по ключевым словам и словосочетаниям: микропластик, микропластик + биота, микропластик + здоровье человека. Глубина поиска составляла 11 лет. В работе использовались 60 источников информации, при отборе которых преимущество отдавалось результатам исследований в России, представленным в журналах, входящих в ядро РИНЦ, а при отборе зарубежных публикаций – журналам, индексируемым в Web of Science и Scopus (Q1–Q2).

**Результаты.** С пластиком связаны многие потенциальные угрозы для биоты и человека. Наибольший риск для млекопитающих и других крупных представителей фауны связан с макрофрагментами (> 5 мм) пластикового мусора, а для мелких животных – с его микрочастицами (< 0,5 мм), вызывающими нарушения их питания, движения, репродукции. Для здоровья человека наибольшую опасность создают токсичные вещества, мигрирующие из пластиковой тары в пищевые продукты и жидкости (прежде всего бисфенолы и фталаты). Но в реальной жизни концентрации токсичных веществ в продуктах питания не превышают гигиенических нормативов, а экспериментальные нарушения состояния животных были получены при использовании концентраций, превышающих их уровень в окружающей среде. Установлены негативные эффекты микро- и наночастиц (< 0,001 мм) пластика на клетки крови человека, иммунные и воспалительные процессы, апоптоз и др. Однако заболеваний, которые могли бы быть убедительно связаны с воздействием пластика на человека, пока не обнаружено.

**Заключение.** Многие вопросы о влиянии токсичных продуктов деградации пластика, а также его микро- и наночастиц на биоту и человека остаются нерешенными. Поэтому сохраняются актуальность применения менее токсичных и поддающихся биодegradации видов пластика, увеличения объемов его утилизации, воспитания экологически грамотного потребителя пластиковых изделий, широкого внедрения раздельного сбора мусора.

**Ключевые слова:** пластик, микропластик, продукты деградации пластика, среда обитания, риски, биота, здоровье человека, Россия.

**Для цитирования:** Кизеев А.Н., Сюрин С.А. Пластик в биосфере – риски биоте и здоровью населения России // Здоровье населения и среда обитания. 2023. Т. 31. № 5. С. 41–51. doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-5-41-51>

## Plastic in the Biosphere – Risks to Biota and Human Health in Russia

Aleksei N. Kizeev, Sergei A. Syurin

Northwest Public Health Research Center, 4, 2<sup>nd</sup> Sovetskaya Street, Saint Petersburg, 191036, Russian Federation

### Summary

**Introduction:** The constant growth of plastic production accompanied by its insufficient disposal has led to global environmental pollution and potential risks to biota and human health.

**Objective:** To analyze scientific literature data on the risks posed by plastics for biota and public health in Russia.

**Materials and methods:** We have studied scientific publications indexed in international (Web of Science, Scopus, and PubMed) and domestic (Russian Science Citation Index (RSCI)) databases in 2012–2022 and searched for using the following keyword combinations: microplastics & biota, microplastics & human health. We reviewed 60 Russian and English-language literary sources giving preference to national studies published in journals included in the RSCI core collection and to foreign studies published in the journals indexed in the Web of Science and Scopus (Q1–Q2).

**Results:** Many potential threats to biota and humans are associated with plastics. Macro-sized (> 5 mm) plastic debris pose the highest risk to mammals and other large fauna while microparticles are dangerous for small mammals as they cause eating, movement, and reproductive disorders. Toxic substances, primarily bisphenols and phthalates that migrate from plastic containers into food and liquids, pose the greatest risk to human health. Yet, in real life, concentrations of these toxicants in food products do not exceed hygienic standards, and health disorders in experimental animals have been observed following the exposure to higher than naturally found levels of plastic contaminants. Adverse effects of plastic micro- and nanoparticles (< 0.001 mm) on blood cells, immune and inflammatory processes, apoptosis, etc., have been established. Yet, no human diseases can be convincingly associated with plastic exposure nowadays.

**Conclusions:** Many questions about the impact of toxic degradation products of plastic, its micro- and nanoparticles on biota and humans remain unresolved. It is therefore important to use potentially less toxic and biodegradable types of plastic, boost their recycling rates, raise public awareness on plastic pollution, and promote ubiquitous separate waste collection.

**Keywords:** plastic, microplastics, plastic degradation products, environment, risks, biota, human health, Russia.

**For citation:** Kizeev AN, Syurin SA. Plastic in the biosphere – Risks to biota and human health in Russia. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2023;31(5):41–51. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-5-41-51>

**Введение.** Вторая половина XX и XXI век – это время широкого внедрения в жизнь человека синтетических полимеров, из которых изготавливают ткани для одежды, одноразовую посуду, различные виды упаковки, бытовую технику, строительные материалы и др. В 1950–2020 годах на планете было произведено почти 9 млрд тонн пластика, из которых было переработано или сожжено только 21 %<sup>1,2</sup>.

Российский рынок изделий из пластика составляет 2,2 %, а производство – 3 % от мирового объема и характеризуется устойчивыми темпами развития. В 2014–2019 годах объемы производства различных видов пластика в России увеличилась на 64,2 %, достигнув 8,76 млн тонн (60,6 кг/чел.). Более того, стратегия развития химического и нефтехимического комплекса страны на период до 2030 года предполагает рост потребления изделий из пластмасс до 89,8 кг/чел. В структуре пластиков, производившихся в России в 2019 году, первые пять мест занимали полиэтилен (2357 тыс. тонн), полипропилен (1750 тыс. тонн), поливинилхлорид (963 тыс. тонн), полистирол (550 тыс. тонн) и полиэтилентерефталат (540 тыс. тонн)<sup>3</sup>.

Произведенные пластиковые изделия после окончания срока их эксплуатации превращаются в пластиковый мусор. Его меньшая часть (21 %) подвергается переработке, а большая (79 %), находясь в окружающей среде, фрагментируется за счет воздействия микроорганизмов, термоокисления, гидролиза, деформации и механического разрушения под воздействием ультрафиолета, ветра и волн до макро- (более 5 мм), микро- (5 мм – 1 мкм) и наночастиц (менее 1 мкм). В отличие от биологического разложения естественных объектов это очень длительный процесс, занимающий сотни лет [1–3]. В России каждый год образуется 3,6–5 млн тонн пластикового мусора. Среди 10 стран с самым высоким объемом пластиковых отходов на душу населения Россия занимает восьмое место после США (105 кг/чел/год), Великобритании (99 кг/чел/год), Южной Кореи (88 кг/чел/год), Германии (81 кг/чел/год), Таиланда (70 кг/чел/год), Малайзии (67 кг/чел/год) и Аргентины (61 кг/чел/год). К сожалению, Россию от других развитых стран мира отличает низкий процент переработки пластиковых отходов, составляющий только 7–12,5 %, что существенно меньше, чем в странах западной Европы (50 %) и США (29 %). Поэтому разрыв между произведенным и утилизированным пластиковым мусором показывает принадлежность России к числу наиболее неблагоприятных стран по данному показателю<sup>4</sup>.

Помимо частиц различных размеров, воздействие пластика на живую природу и человека может быть обусловлено рядом токсичных веществ, образующихся при разрушении его структуры. Прежде всего,

это вещества, относящиеся к группам бисфенолов и фталатов, биологическое действие которых изучено экспериментально и подтверждено клиническими наблюдениями. Важно, что миграция бисфенолов и фталатов из пластика в окружающую среду (в том числе в продукты и напитки) может происходить в короткие сроки эксплуатации пластиковых изделий, в отличие от длительных процессов их фрагментации на частицы [4–6].

Таким образом, известные воздействия пластика на живую природу определяются числом, размером, формой и химическим составом частиц, а также токсичными веществами, образующимися при деградации пластика. При этом актуальность проблемы риска здоровью человека постоянно возрастает. С одной стороны, это связано с увеличением контактов с изделиями из пластика, а с другой – с глобальным накоплением пластикового мусора.

**Цель исследования** – анализ данных научной литературы о создаваемых пластиком рисках для биоты и здоровья населения России.

**Материалы и методы.** Материалом для исследования послужили источники научной литературы, индексированные в международных базах данных Web of Science, Scopus, PubMed и в отечественной базе данных РИНЦ. Отбор источников осуществлялся с использованием ключевых слов и словосочетаний: микропластик, микропластик + биота, микропластик + здоровье человека. Глубина поиска составила 11 лет (2012–2022 годы). В настоящем обзоре были использованы 60 источников информации. При их отборе преимущество отдавалось результатам исследований в России, представленным в журналах, входящих в ядро РИНЦ. При отборе зарубежных публикаций предпочтение отдавалось журналам, индексированным в Web of Science и Scopus (Q1–Q2).

Для характеристики объемов производства и утилизации пластика в России и в мире использовалась справочная литература. В соответствии с современными требованиями оценка возможного риска пластика живой природе и здоровью человека включала идентификацию опасности, оценку зависимости «доза – ответ» и управление риском<sup>5</sup>.

**Результаты исследования.** Библиографический поиск по ключевому слову «микропластик» выявил 9831 зарубежную и 149 отечественных публикаций. Дальнейший поиск иностранных источников по ключевому словосочетанию «микропластик + биота» показал 802, а по ключевому словосочетанию «микропластик + здоровье человека» – 1233 публикации. В первом случае их количество за 2012–2022 годы выросло с 2 до 320, а во втором – с 1 до 600 источников. Из статей, отобранных по ключевому слову «микропластик», вопросам экологии и здоровья человека было посвящено 29 % исследований.

<sup>1</sup> PlasticsEurope, Brussels. PlasticsEurope, Plastics – the Facts 2014/2015. An analysis of European plastics production, demand and waste data. 2015. PlasticsEurope, Brussels. [http://www.plasticseurope.org/documents/document/20150227150049 final plastics the facts 2014 2015 260215.pdf](http://www.plasticseurope.org/documents/document/20150227150049%20final%20plastics%20the%20facts%202014%202015%20260215.pdf)

<sup>2</sup> Plastics Europe. Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data (Plastics Europe, 2020). 2020. [https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/09/Plastics\\_the\\_facts-WEB-2020\\_versionJun21\\_final.pdf](https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/09/Plastics_the_facts-WEB-2020_versionJun21_final.pdf)

<sup>3</sup> Анализ производства пластмасс в России в 2019 г. <https://him-nn.ru/analiz-proizvodstva-plastmass-v-rossii-v-2019-g/>

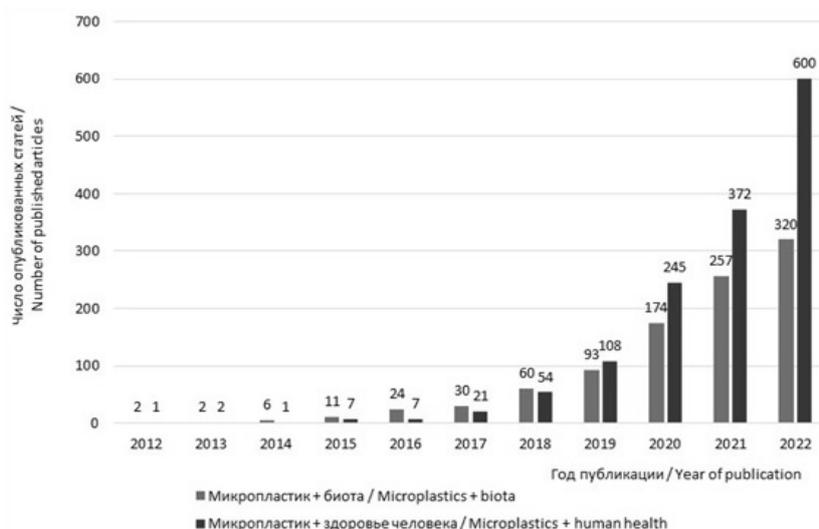
<sup>4</sup> Сперанская О., Понизова О., Цитцер О., Гурский Я. Пластик и пластиковые отходы в России: ситуация, проблемы и рекомендации. Международная сеть по ликвидации загрязнителей (International Pollutants Elimination Network). 2021. 92 с.

<sup>5</sup> Р 2.1.10.1920–04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду.

В базе данных РИНЦ в 2012–2022 годах число публикаций по ключевому словосочетанию «микропластик + биота» составило 45, а по ключевому словосочетанию «микропластик + здоровье человека» – 72 работы. За 12 лет в первом случае их число увеличилось с 2 до 12, а во втором – с 2 до 22 публикаций. Из статей, идентифицированных ключевым словом «микропластик», вопросы экологии и здоровья человека изучались в 32 % исследова-

ний. Таким образом, проведенный поиск показал стабильно растущий как в мире, так и в России интерес к проблеме рисков для живой природы и здоровья человека, создаваемых находящимся в окружающей среде пластиком (см. рисунок).

Идентификация и характеристика рисков, создаваемых пластиком и его компонентами, проведена с учетом жизненного цикла и цикла эксплуатации пластика (см. таблицу). Вначале находится



**Рисунок.** Ежегодное число публикаций с ключевыми словосочетаниями «микропластик + биота» и «микропластик + здоровье человека» в мировой научной литературе

**Figure.** The annual number of international publications with the following keyword combinations: microplastics & biota, microplastics & human health, 2012–2022

**Таблица.** Потенциальные риски, создаваемые пластиком и его компонентами для окружающей среды и человека на разных этапах жизненного цикла

**Table.** Potential risks posed by plastic and its components for the environment and human health at different stages of its life cycle

Этапы жизненного цикла пластика / Stages of the plastic life cycle	Потенциальные риски для окружающей среды и человека / Potential risks for the environment and humans
1. Производство пластика / Plastic production	<ul style="list-style-type: none"> <li>– при производстве полиэтилена: альдегиды (ацетальдегиды и формальдегиды) ацетон, спирты (бутанол, пропанол), оксиды углерода / in the production of polyethylene: aldehydes (acetaldehyde and formaldehyde) acetone, alcohols (butanol, propanol), carbon oxides;</li> <li>– при производстве полипропилена: альдегиды, органические кислоты, непредельные углеводороды, оксиды углерода и пр. / in the production of polypropylene: aldehydes, organic acids, unsaturated hydrocarbons, carbon oxides, etc.;</li> <li>– при производстве полиакриловых полимеров: метилметакрилат, бутанол, этанол, этилацетат, метилпропионат и бутен / in the production of polyacrylic polymers: methyl methacrylate, butanol, ethanol, ethyl acetate, methyl propionate and butene;</li> <li>– при производстве полистирола: стирол, непредельные углеводороды, альдегиды, оксид углерода / in the production of polystyrene: styrene, unsaturated hydrocarbons, aldehydes, carbon monoxide;</li> <li>– при производстве поливинилхлорида: винилхлорид и соляная кислота / in the production of polyvinyl chloride: vinyl chloride and hydrochloric acid</li> </ul>
2. Изготовление пластиковых изделий / Manufacture of plastic products	Формальдегид, оксид этилена, предельные углеводороды, диоксид углерода, сложные эфиры, альдегиды и др. химические соединения / Formaldehyde, ethylene oxide, saturated hydrocarbons, carbon dioxide, esters, aldehydes, etc.
3. Эксплуатация пластиковых изделий / Use of plastic products	Частицы макро-, микро- и нанопластика, специальные добавки (бисфенол А, фталаты, антипирены и др.), продукты деградации пластика / Macro-, micro- and nano-sized plastics, special additives (bisphenol A, phthalates, flame retardants, etc.), plastic degradation products
4. Пластиковый мусор / Plastic debris	
5. Переработка и утилизация пластикового мусора / Plastic waste recycling and disposal	Хлорид водорода, оксиды углерода, азота, аммиака, твердые частицы, диоксины, фураны полихлорированные; бифенилы и др. химические соединения / Hydrogen chloride, oxides of carbon, nitrogen, ammonia, particulate matter, dioxins, polychlorinated furans; biphenyls, etc.

производство пластика, заключающееся в соединении первичных форм пластмассы с различными добавками. В России в качестве таких форм преимущественно используются индифферентные для живых организмов полимеры этилена, стирола, пропилена и винилхлорида. Наиболее распространенными пластиковыми добавками являются бисфенолы, фталаты, полибромированные антипирены, обладающие доказанными токсическими свойствами [3, 7–9].

**Производство пластика** сопровождается выбросами в воздух рабочих зон широкого спектра токсических химических веществ, образующихся при синтезе полимеров из пластикового сырья с добавлением пластификаторов (см. таблицу). К ним, в частности, относятся 1,3-бутадиен, бензол, стирол и толуол, которые представляют угрозу для здоровья человека, способствуя развитию различных заболеваний, включая онкологические [10, 11].

Условия труда **при производстве пластмассовых изделий** (второй этап жизненного цикла пластика) характеризуются другими вредными факторами: высоким уровнем загрязнения воздуха парами формальдегида, фенола, окиси углерода, окиси этилена в сочетании с неудовлетворительными параметрами микроклимата, шумом и высокой тяжестью трудовых процессов. В условиях современного производства рабочие подвергаются преимущественно длительному воздействию комплекса химических веществ в концентрациях, близких к предельно допустимым. Особенностью действия ксенобиотиков в допустимых концентрациях является отсутствие специфических симптомов интоксикации, наличие «скрытых» неспецифических нарушений гомеостаза, которые ведут к истощению адаптационно-приспособительных реакций и снижению общей резистентности организма [12, 13].

На этапе **эксплуатации изделий из пластика** возможны несколько вариантов возникновения рисков здоровья человека. Макрочастицы пластика в виде деталей игрушек представляют опасность для детей. Возможно их попадание в желудочно-кишечный тракт, дыхательные пути (вплоть до развития удушья), полости уха и носа. Для взрослого человека частицы макропластика реальной опасности не представляют. Также появились данные о проникновении микропластика пероральным путем в организм детей при контакте с пластиковыми изделиями (бутылочками для детского питания, прорезывателями для зубов, игрушками и др.) с последующим его выведением естественным путем. Предполагается, что дети потребляют большое количество микропластика, когда грызут игрушки, сосут соски-пустышки, ползают по поверхностям, содержащим микропластик, например по коврам [14].

Существенно большее значение имеет выход продуктов дезинтеграции пластика из стенок контейнеров и упаковочного материала в жидкости и продукты питания. В частности, доказана миграция в бутилированную воду и молоко бисфенола и фталатов, оказывающих негативное влияние на организм человека. Бисфенолы, являясь агонистами эстрогеновых рецепторов, вызывают нарушения

обмена веществ, развитие ожирения, иммунные расстройства, раннее половое созревание, развитие рака предстательной и молочной желез, нарушение внутриутробного развития [4–7].

В Европейском союзе разработаны допустимые пределы миграции бисфенола А в пищевые продукты, а также установлены ограничения на его использование при изготовлении упаковочного материала. В России такие законодательно утвержденные гигиенические нормативы отсутствуют. Проведенное в России исследование продуктов питания (минеральная вода, соки, пиво, овощи, мясо) выявило наличие бисфенола А в количестве 0,1–42,9 мкг/кг в 15 из 19 проб с наивысшим уровнем в консервированных овощах и мясе, упакованных в металлические банки. Содержание бисфенола А в материале из поликарбоната, применяемом в России для изготовления бутылей для питьевой воды, показало его превышение в 203,4–711,4 раза по сравнению с результатами исследований в Германии. Однако миграции бисфенола А из тары в модельные среды выявлено не было, что соответствовало данным большинства международных наблюдений [4, 5].

Фталаты имитируют структуру полового гормона эстрогена. Попадая в организм человека, они способны вызвать серьезные нарушения в эндокринной и половой системах. Фталаты в организме мужчин угнетают выработку тестостерона, задерживают рост и развитие репродуктивной системы. В целом биологические эффекты этих химических веществ аналогичны действию антиандрогенов: они ведут к аномальной пролиферации клеток простаты с последующим повышенным риском развития рака. У женщин они провоцируют развитие рака груди, заболевания яичников, нарушения течения беременности. Учитывая установленные риски здоровью, для бисфенола А и фталатов разработаны ПДК в атмосферном воздухе и воде хозяйственно-питьевого назначения. Необходимо отметить, что нет доказательств того, что источником бисфенола и фталатов в напитках и продуктах является исключительно полимерная тара. Весьма вероятно их наличие в исследованных пробах до процесса упаковки. Также важно, что по данным всех российских и зарубежных исследований содержание бисфенолов и фталатов в напитках и пищевых продуктах не превышало гигиенических нормативов. Вопрос о возможности их кумулятивного действия при длительном поступлении в организм из разных источников при соблюдении ПДК остается открытым [6, 8].

При использовании пластиковой тары, помимо химических соединений – продуктов дезинтеграции пластика внутренних поверхностей тары и упаковки, вероятно попадание в организм человека его мелких частиц различного размера. В этом аспекте наиболее изученным объектом является бутилированная питьевая вода [15, 16]. Микропластик также обнаружен в растительных маслах, чае, пиве и других пищевых продуктах, предварительно находившихся в пластиковой упаковке [17–19].

**Пластиковый мусор** в окружающей среде в виде частиц различных размеров способен оказать

существенное влияние на биоту планеты. Первые сообщения об обнаружении микропластика в пробах планктона относятся к началу 1970-х годов [20]. Российскими учеными преимущественно изучалось содержание микропластика в морях Северного Ледовитого и Тихого океанов, а также в Балтийском и Черном морях. Их содержание варьировало в широком диапазоне от 2 до 357 шт./м<sup>3</sup> [21–24]. Меньше изучены пресные воды страны: озера (Ладожское, Онежское, Байкал), реки (Северная Двина, Обь, Томь, Волга и др.), в которых концентрация микропластика составляет от 0,03 до 210 шт./м<sup>3</sup> [25–28]. Не были обнаружены опубликованные в виде научных статей данные российских исследований о количественном содержании частиц пластика в воздухе и в почве.

Многие животные воспринимают частицы пластика как источник пищи [29]. Макрочастицы пластика попадают в желудочно-кишечный тракт морских млекопитающих и птиц, крупных рыб. Они способны нарушать процессы питания, снижая поглощение питательных веществ и активность кормления из-за чувства ложного насыщения. Также возможно негативное влияние на организм за счет травматизации слизистой оболочки и/или перфорации стенок кишечника. Большое количество пластика способно вызвать механическую непроходимость желудочно-кишечного тракта и смерть, что нередко наблюдается среди морских животных и водоплавающих птиц [2, 29–31].

Нахождение микро- и наночастиц пластика неоднократно отмечалось в моллюсках, крабах, рыбах, морских звездах, фитопланктоне. Поскольку пластик не разлагается их ферментативной системой, то его поступление и депонирование в различных тканях и органах представляет потенциальную угрозу для существования живых организмов. Количественное содержание частиц пластика варьируется в зависимости от вида организма, места и метода отбора проб, методики проведения анализа. С воздействием микропластика связывается ряд отклонений у животных. В частности, нарушение репродуктивного и пищевого поведения, снижение выживаемости представителей веслоногих ракообразных – *Calanus helgolandicus* [32], нарушения пищевого поведения рыб [33], снижение роста и воспроизводства рыб видов *Hyaletta azteca* [34], снижение скорости плавания и трофической активности *Daphnia magna* при воздействии микропластика полистирола [35]. Отмечена способность бентосных организмов, в частности пресноводных олигохет *Tubificidae*, к перераспределению микропластика в илстых донных отложениях [36]. Однако дизайн проведенных исследований не представляет возможности дифференцировать механизмы этого воздействия. Интересный факт был обнаружен С.А. Бирицкой и соавт. [37] при изучении амфипод Байкала, которые обладают свойством поглощать и естественным образом выводить частицы микропластика без каких-либо функциональных или морфологических признаков повреждения организма. В экспериментальных условиях особи комара кровососущего (*Aedes aegypti*) поглощали

в среднем за 3 дня 7 микропластинок полистирола, которые не оказывали отрицательного влияния на выживаемость комаров, но повышали массу их тела по сравнению с контрольной группой насекомых. В процессе метаморфозы микропластины переходят от личинок к куколкам в водных экосистемах, а затем к взрослым насекомым [38].

Существенно меньше исследований посвящено влиянию на водную биоту токсичных веществ, образующихся при деградации пластика. В их числе отечественная работа В.А. Кальпа и соавт., показавших снижение осмотической стойкости гемоцитов моллюсков *Mytilus galloprovincialis*, которое проявлялось потерей упругих свойств клеточных мембран и гибелью гемоцитов [39].

В организм крупных морских животных также могут попадать микропластины пластика. Это происходит как непосредственно из окружающей водной среды, так и путем поедания нижерасположенных в пищевой цепи растений и животных. Имеются сведения о способности микропластинок пластика перемещаться через слизистую оболочку кишечника в лимфатическую и кровеносную систему с последующим распространением в другие органы [40, 41].

В последние годы доказано, что наночастицы пластика способны проникать не только в организм животных, но и в растения [42]. Они обнаружены в корнях и в листьях арабидопсиса, пшеницы, в овощах и фруктах (яблоках, моркови, грушах, брокколи, салате) [43, 44]. О биологическом действии наночастиц на растения известно крайне мало, однако было отмечено их негативное влияние на рост растений *Arabidopsis thaliana* [45].

Менее известна способность частиц пластика абсорбировать из внешней среды токсичные вещества и патогенные бактерии. Большинство пластиков могут образовывать с находящимися в природных водах стойкими органическими загрязнителями (полихлорированные бифенилы, пиретроиды и т. п.) так называемые ассоциаты, а с тяжелыми металлами – аддукты. Благодаря этим свойствам концентрация собранных на микропластике стойких органических соединений и металлов оказывается на несколько порядков выше, чем их естественный фон [31]. Частицы пластика играют роль искусственного субстрата, на поверхность которого оседают различные организмы-обрастатели. Постепенно в пластиковом мусоре создается собственный биоценоз – «пластисфера», обитатели которого способны переноситься с помощью водных течений на большие расстояния, представляя угрозу местной биоте и человеку [1, 2].

Исследований отечественных авторов, касающихся проникновения, распределения и влияния частиц пластика на организм человека, найдено не было. Воздействие пластика на человека возможно при попадании его микро- и наночастиц в организм с жидкостью, продуктами питания, вдыхаемым воздухом, через кожу и некоторыми другими более редкими путями. Основным путем, вероятно, является пероральное поступление загрязненных пластиком продуктов по пищевым цепям, последним звеном

которых является человек<sup>6</sup>. Значительным источником микропластиков может быть водопроводная вода. Из продуктов питания наибольшее число микропластиков содержат морепродукты, при регулярном потреблении которых в человеческий организм поступает до 11 000 микропластиков пластика в год. Насколько широко распространен микропластик в природе и насколько велико его потребление человеком в повседневной жизни, свидетельствуют следующие данные. Так, ежегодное потребление микропластика жителями США колеблется от 39 000 до 52 000 частиц в зависимости от возраста и пола. Эти оценки увеличиваются до 74 000 и 121 000, если учитывать поступление частиц с вдыхаемым воздухом. Кроме того, люди, употребляющие воду только из бутилированных источников, способны поглощать до 90 000 частиц в год по сравнению с 4000 частиц при использовании водопроводной воды [46]. Доказано, что процесс миграции микропластиков пластика и токсичных продуктов его распада из упаковки увеличивается при нарушении сроков и температурного режима хранения продуктов, а также при использовании пластиковой тары с механическими повреждениями стенок [18, 19].

Депонированные микрофрагменты пластика выявляются во многих органах человека. Исследование крови 22 здоровых добровольцев показало наличие микропластика у 17 человек. В крови обследованных людей содержались частицы полиэтилентерефталата (50 % проб), полистирола (36 %), полиэтилена (23 %) и оргстекла (5 %) [47]. Исследование 47 образцов тканей человека (легких, печени, селезенки и почек) показало наличие пластика во всех представленных биоматериалах. Были выявлены поликарбонат, полиэтилентерефталат, полиэтилен. Также отмечено присутствие в исследуемых тканях человека бисфенола А. Из 13 исследованных образцов легочной ткани в 11 образцах находились частицы пластика размером до 3 мкм. Было идентифицировано 12 типов полимеров, наиболее распространенными из которых являлись полипропилен (23 %), полиэтилентерефталат (18 %) и смола (15 %) [48]. У больных с заболеваниями кишечника была обнаружена более высокая концентрация микропластика в кале (41,8 ед./г дм), чем у здоровых лиц (28,0 ед./г дм). Всего в фекалиях обнаружено 15 типов микропластиков, среди которых преобладали полиэтилентерефталат (22,3–34,0 %) и полиамид (8,9–12,4 %). Представлены доказательства положительной корреляции между концентрацией фекальных частиц и тяжестью заболевания. Высказано предположение о том, что указанная корреляция может быть связана как с патологическими процессами, так и с задержкой микропластиков в воспаленном кишечнике [49].

Микропластик обнаружен в плаценте человека, причем в тканях как со стороны матери, так и со стороны плода. В четырех из шести исследованных плацент содержались фрагменты пластика. Всего было найдено 12 частиц размером 5–10 мкм сферической или неправильной формы. Пять было найдено в тканях на стороне плода, четыре – на

материнской стороне и три – в хориоамниотических оболочках. Три частицы оказались полипропиленом – материалом, из которого обычно делают упаковочную пленку, а среди остальных удалось определить только пигменты – красители, которые содержатся в искусственных покрытиях, красках, клеях, штукатурках, косметике и средствах личной гигиены [50]. Помимо выявления депонированных частичек пластика в различных органах, установлено их влияние на ряд физиологических процессов [51]. Так, наночастицы полистирола, модифицированного амином, взаимодействуют с муцином и индуцируют апоптоз муцин- и немучинсекретирующих эпителиальных клеток кишечника [52]. Показано, что немодифицированный полистирол вызывает апоптоз в нескольких типах клеток человека, включая первичные альвеолярные макрофаги и первичные эпителиальные клетки альвеолярного типа 2 (AT2) [53].

Исследование *in vitro* с использованием частиц полистирола различного размера показало, что более крупные частицы (202 и 535 нм) вызывали более высокую экспрессию интерлейкина IL-8 в клетках легких в сравнении с воздействием частицами размером 64 нм [54]. Кроме того, наночастицы карбоксилированного полистирола вызывали существенную активацию интерлейкина IL-6 и IL-8 при аденокарциноме желудка, лейкемии и гистиоцитарной лимфоме человека. Это свидетельствует о том, что усиление воспалительных реакций частицами полистирола, вероятно, обусловлено строением частиц, а не их зарядом [55].

Полиэтиленовые компоненты, входящие в состав материалов суставных протезов, в результате износа могут фрагментироваться до мелких частиц, которые запускают продукцию таких провоспалительных факторов, как TNF и интерлейкин IL-1, а также проостеокластические факторы, включая рецептор активатор лиганда NF- $\kappa$ B (RANKL). Это приводит к перипротезной резорбции кости и в итоге может быть причиной нарушения функции протеза [56]. Высокий уровень частиц сверхвысокомолекулярного полиэтилена размером от 0,2 до 10 мкм и макрофагов наблюдался в перипротезной ткани, что указывало на активацию воспалительной реакции [57].

Микропластик и нанопластик способен нарушать клеточный метаболизм как в лабораторных условиях, так и в модели *in vivo*. Наночастицы на основе полистирола влияют на сигнальные системы эпителиальных клеток дыхательных путей путем взаимодействия с цитоплазматической мембраной. После воздействия отрицательно заряженных наночастиц карбоксилированного полистирола размером 20 нм обнаружена активация ионных калиевых каналов в клетках легких человека. Нанопластик вызывал постоянное и зависящее от концентрации увеличение токов короткого замыкания за счет активации ионных каналов и стимуляции ионного оттока хлора и бикарбоната [58]. Кроме того, наночастицы полистирола размером 30 нм индуцировали большие

<sup>6</sup> Plastic & Health: The Hidden Costs of a Plastic Planet. 2019. <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2019/02/Plastic-and-Health-The-Hidden-Costs-of-a-Plastic-Planet-February-2019.pdf>

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-5-41-51>  
Review Article

везикулоподобные структуры в эндоцитарных путях макрофагов и раковых клеток человека линий A549, HepG-2 и HCT116. Острое пероральное воздействие положительно заряженных наночастиц полистирола может нарушать в кишечнике человека транспорт железа и его клеточное поглощение [59].

Несмотря на представленные выше потенциально опасные для здоровья человека нарушения, пока не установлено клинических признаков каких-либо заболеваний, развитие которых можно было бы связать с воздействием частиц пластика.

**На последнем этапе жизненного цикла пластика** производится его переработка, что может сопровождаться образованием токсичных веществ, создающих риски здоровью работников мусороперерабатывающих предприятий и окружающей среде. Результатов исследований условий труда данной категории работников в научной литературе не найдено. Опыт эксплуатации многих современных предприятий по переработке твердых бытовых отходов, основной частью которых является пластиковый мусор, показывает их экологическую безопасность. При температурах 1200–1400 °С, характерных для современных установок, большинство токсических веществ необратимо распадаются, а неразложившаяся часть поглощается в адсорбирующих фильтрах. На современных мусоросжигающих станциях выбросы диоксинов снижены до 0,6 мкг на тонну топлива, в то время как на старых мусороперерабатывающих предприятиях выбросы достигали 300 мкг/т. Концентрации регламентируемых веществ в газообразных продуктах сгорания отходов не превышают допустимых значений. При этом отмечено, что в России практически отсутствуют современные мусоросжигающие установки, поэтому необходимо уделять большое внимание экологическому аспекту этого вопроса [60].

**Заключение.** Большие объемы производства и низкий процент утилизации пластикового мусора обуславливают проблему влияния продуктов его распада на биоту и создают пока еще недостаточно изученные риски здоровью населения России. Проведенное исследование литературных источников показало, что пластик способен оказывать воздействие на окружающую среду на всех этапах его жизни и эксплуатации. На этапах производства пластика, изготовления из него изделий и переработки пластикового мусора потенциально негативное влияние преимущественно связано с токсическими газообразными соединениями, поступающими в рабочие зоны предприятий и в атмосферу. На этапах эксплуатации пластика и пластикового мусора воздействие обусловлено частицами синтетических полимеров различного размера и токсичными веществами, образующимися при их деструкции.

В настоящее время не имеется убедительных данных о клинически значимых нарушениях здоровья человека, вызванных частицами пластика. Концентрации в продуктах питания и напитках компонентов пластика с доказанными токсичными свойствами не превышают установленных гигиенических нормативов. Нарушения функционального

состояния различных видов животных были получены в экспериментах с применением данных веществ в концентрациях, превышающих их реальный уровень в природе. Не вызывает сомнения негативное влияние макропластика на фауну, особенно морскую. Необходимы дополнительные исследования влияния микро- и наночастиц пластика, а также токсичных продуктов его разрушения в допустимых нормативами концентрациях на биоту и здоровье человека. Вышеизложенное ни в коей мере не уменьшает важности разработки и применения потенциально менее токсичных и поддающихся биодеградации видов пластика, разумного количества производимых пластиков, увеличения доли их утилизации, а также воспитания экологически грамотного потребителя пластиковых изделий. Процент утилизации пластиковых отходов может быть существенно повышен за счет внедрения раздельного сбора мусора, который на сегодняшний день в России находится на начальной стадии своего развития.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саванина Я.В., Барский Е.Л., Фомина И.А., Лобакова Е.С. Загрязнение водной среды микропластиком: воздействие на биологические объекты, очистка // Информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2019. № 2. С. 54–58.
2. Масленников С.И., Щукина Г.Ф., Назарев Ю.П. Микропластик в океане – новые проблемы морского природопользования // Рыбное хозяйство. 2017. № 3. С. 33–37.
3. Соколов Ю.И. Риски тотального пластикового загрязнения планеты // Проблемы анализа риска. 2020. Т. 17. № 3. С. 30–43. doi: 10.32686/1812-5220-2020-17-3-30-43
4. Маркова О.Л., Еремин Г.Б., Зарицкая Е.В., Ганичев П.А., Петрова М.Д. Миграция бисфенола А из полимерных упаковочных материалов в бутилированную воду и продукты питания. результаты международных исследований. Аналитический обзор // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2020. Т. 15. № 1. С. 402–416.
5. Зарицкая Е.В., Маркова О.Л., Ганичев П.А., Еремин Г.Б., Михеева А.Ю. Бисфенол А: к вопросу о гигиенической безопасности пищевой упаковки // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2021. Т. 16. № 1. С. 133–138.
6. Ганичев П.А., Маркова О.Л., Еремин Г.Б., Мясников И.О. Влияние фталатов на здоровье населения. краткий литературный обзор // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2020. Т. 15. № 1. С. 233–239.
7. Ермачкова П.А., Кравченко А.Н., Залата О.А., Шибанов С.Э. Негативное влияние микропластика: системы-мишени организма человека // Мотивационные аспекты физической активности: Материалы V Всероссийской междисциплинарной конференции, Великий Новгород, 26 февраля 2021 года / Отв. редактор Р.Я. Власенко. – Великий Новгород: Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, 2021. С. 23–28. doi: 10.34680/978-5-89896-739-0/2021.MAPHA.04
8. Шкаева Е.И., Солнцева С.А., Никулина О.С., Николаев А.И., Дулов С.А., Земляной А.В. Токсичность и опасность фталатов (анализ литературных сведений) // Токсикологический вестник. 2019. № 6. С. 3–9. doi: 10.36946/0869-7922-2019-6-3-9

9. Бражк Д.Г. Обеспечение экологической безопасности в аспекте воздействия утилизации пластиковых отходов на здоровье населения и окружающую среду // Экономическая безопасность. 2022. Т. 5. № 2. С. 673–694. doi: 10.18334/ecsec. 5.2.114416
10. Бацукова Н.Л. Гигиена труда на предприятиях по производству и переработке синтетических полимерных материалов // Охрана труда. 2013. № 5 (2). С. 421–427.
11. Ибрагимов И.М., Самыкина Л.Н., Косова Л.Н. Некоторые аспекты адаптационных механизмов защиты у рабочих на производстве полимеров // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1-7. С. 1825–1828.
12. Самыкина Е.В., Самыкина Л.Н., Косова Л.Н., Богданова Р.А. Состояние здоровья рабочих на производстве изделий из полиэтилена низкого давления // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1-7. С. 1884–1886.
13. Самыкина Е.В., Самыкина Л.Н., Богданова Р.А. Изучение воздуха рабочей зоны в производстве пластмассовых изделий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 1-7. С. 1797–1800.
14. Zhang J, Wang L, Trasande L, Kannan K. Occurrence of polyethylene terephthalate and polycarbonate microplastics in infant and adult feces. *Environ Sci Technol Lett*. 2021;8(11):989-994. doi: 10.1021/acs.estlett.1c00559
15. Рудаков О.Б., Рудакова А.В. Наночастицы из пластика – актуальный загрязнитель пищевой продукции // Мясные технологии. 2019. № 2. С. 26–29. doi: 10.33465/2308-2941-2019-10-48-51
16. Ганичев П.А. О влиянии частиц микропластика в питьевой воде на здоровье населения. Обзор. Здоровье населения и среда обитания. 2021. Т. 29. № 9. С. 40–43. doi: 10.35627/2219-5238/2021-29-9-40-43
17. Корнилов, К.Н., Роева, Н.Н. Обнаружение частиц микропластика в растительных маслах // Health, Food & Biotechnology. 2020. № 2 (1). С. 62–70. doi: 10.36107/hfb.2020.11.s315
18. Sharma S, Sharma B, Dey Sadhu S. Microplastic profusion in food and drinking water: are microplastics becoming a macroproblem? *Environ Sci Process Impacts*. 2022;24(7):992-1009. doi: 10.1039/d1em00553g
19. Li Y, Peng L, Fu J, Dai X, Wang G. A microscopic survey on microplastics in beverages: the case of beer, mineral water and tea. *Analyst*. 2022;147(6):1099-1105. doi: 10.1039/d2an00083k
20. Carpenter EJ, Smith Jr KL. Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science*. 1972;175(4027):1240-1241. doi: 10.1126/science.175.4027.1240
21. Bagaev A, Esiukova E, Litvinyuk D, et al. Investigations of plastic contamination of seawater, marine and coastal sediments in the Russian seas: a review. *Environ Sci Pollut Res*. 2021;28(25):32264-32281. doi: 10.1007/s11356-021-14183-z
22. Ершова А.А., Еремина Т.Р., Макеева И.Н. и др. Микропластиковое загрязнение морской среды Баренцева и Карского морей в 2019 г. // Гидрометеорология и экология. 2022. № 69. С. 691–711. doi: 10.33933/2713-3001-2022-69-691-711
23. Чубаренко И.П., Есюкова Е.Е., Хатмуллина Л.И. и др. Микропластик в морской среде. Москва: Научный мир, 2021. 520 с.
24. Авдонина Н.С., Соболев Н.А. Воздействие прибрежного мусора на биологические ресурсы арктических морей // Арктика и Север. 2022. № 47. С. 260–267. doi: 10.37482/issn2221-2698.2022.47.260
25. Frank YA, Vorobiev ED, Vorobiev DS, et al. Preliminary screening for microplastic concentrations in the surface water of the Ob and Tom Rivers in Siberia, Russia. *Sustainability*. 2021;13(1):80. doi: 10.3390/su13010080
26. Frank YA, Vorobiev DS, Kayler OA, et al. Evidence for microplastics contamination of the remote tributary of the Yenisei River, Siberia – The pilot study results. *Water*. 2021;13(22):3248. doi: 10.3390/w13223248
27. Lisina AA, Platonov MM, Lomakov OI, et al. Microplastic abundance in Volga River: Results of a pilot study in summer 2020. *Geography, Environment, Sustainability*. 2021;14(3):82-93. doi: 10.24057/2071-9388-2021-041
28. Ильина О.В., Колобов М.Ю., Ильинский В.В. Пластиковое загрязнение прибрежных поверхностных вод среднего и южного Байкала // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 1. С. 42–51.
29. Derraik JGB. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Mar Pollut Bull*. 2002;44(9):842-852. doi: 10.1016/s0025-326x(02)00220-5
30. Frank YA, Vorobiev ED, Babkina IB, Antsiferov DV, Vorobiev DS. Microplastics in fish gut, first records from the Tom River in West Siberia, Russia. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2020;(52):130-139. doi: 10.17223/19988591/52/7
31. Сапрыкин А.И., Самойлов П.П. Микро- и нанопластики в окружающей среде (аналитика, источники, распределение и проблемы экологии): аналитический обзор. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Государственная публичная научно-техническая библиотека Сибирского отделения РАН. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2021. 115 с.
32. Cole M, Lindeque P, Fileman E, Halsband C, Galloway TS. The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environ Sci Technol*. 2015;49(2):1130-1137. doi: 10.1021/es504525u
33. De Sá LC, Luís LG, Guilhermino L. Effects of microplastics on juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*): Confusion with prey, reduction of the predatory performance and efficiency, and possible influence of developmental conditions. *Environ Pollut*. 2015;196:359-362. doi: 10.1016/j.envpol.2014.10.026
34. Au SY, Bruce TF, Bridges WC, Klaine SJ. Responses of *Hyalella azteca* to acute and chronic microplastic exposures. *Environ Toxicol Chem*. 2015;34(11):2564-2572. doi: 10.1002/etc.3093
35. Никитин О.В., Насырова Э.И., Кузьмин Р.С., Миннегулова Л.М., Латыпова В.З., Ашихмина Т.Я. Влияние частиц микропластика полистирола на морфологические и функциональные показатели *Daphnia magna* // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 4. С. 196–203. doi: 10.25750/1995-4301-2022-4-196-203
36. Frank YA, Vorobiev DS, Vorobiev ED, Samarina AA, Antsiferov DV, Strezov V. Ability of benthic oligochaetes to bury microplastics in aquatic bottom sediments. *Sci Total Environ*. 2023;857(Pt 3):159687. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159687
37. Бирицкая С.А., Бухаева Л.Б., Долинская Е.М. и др. Изучение влияния частиц микропластика на эндемичных амфипод озера Байкал // Байкальский зоологический журнал. 2022. № 1. С. 134–135.
38. Simakova A, Varenitsina A, Babkina I, et al. Ontogenetic transfer of microplastics in bloodsucking mosquitoes *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) is a potential pathway for particle distribution in the environment. *Water*. 2022;14(12):1852. doi: 10.3390/w14121852
39. Кальпа В.А., Воронин Д.П., Лантушенко А.О. Влияние продуктов разложения пластика на механические свойства мембран гемоцитов *Mytilus Galloprovinci* // Актуальные вопросы биологической физики и химии. 2021. Т. 6. № 4. С. 695–698.

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-5-41-51>

Review Article

40. Fang C, Zheng R, Hong F, *et al.* Microplastics in three typical benthic species from the Arctic: Occurrence, characteristics, sources, and environmental implications. *Environ Res.* 2021;192:110326. doi: 10.1016/j.envres.2020.110326
41. Peng L, Fu D, Qi H, Lan CQ, Yu H, Ge C. Micro- and nano-plastics in marine environment: Source, distribution and threats – A review. *Sci Total Environ.* 2020;698:134254. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134254
42. Campanale C, Galafassi S, Savino I, *et al.* Microplastics pollution in the terrestrial environments: Poorly known diffuse sources and implications for plants. *Sci Total Environ.* 2022;805:150431. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150431
43. Fogašová K, Manko P, Oboňa J. The first evidence of microplastics in plant-formed fresh-water micro-ecosystems: *Dipsacus teasel* phytotelmata in Slovakia contaminated with MPs. *BioRisk.* 2022;18:133-143. doi: 10.3897/biorisk.18.87433
44. Oliveri Conti G, Ferrante M, Banni M, *et al.* Micro- and nano-plastics in edible fruit and vegetables. The first diet risks assessment for the general population. *Environ Res.* 2020;187:109677. doi: 10.1016/j.envres.2020.109677
45. Sun XD, Yuan XZ, Jia Y, *et al.* Differentially charged nanoplastics demonstrate distinct accumulation in *Arabidopsis thaliana*. *Nat Nanotechnol.* 2020;15(9):755-760. doi: 10.1038/s41565-020-0707-4
46. Cox KD, Covernton GA, Davies HL, Dower JF, Juanes F, Dudas SE. Human consumption of microplastics. *Environ Sci Technol.* 2019;53(12):7068-7074. doi: 10.1021/acs.est.9b01517
47. Leslie HA, van Velzen MJM, Brandsma SH, Vethaak AD, Garcia-Vallejo JJ, Lamoree MH. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environ Int.* 2022;163:107199. doi: 10.1016/j.envint.2022.107199
48. Jenner LC, Rotchell JM, Bennett RT, Cowen M, Tentzeris V, Sadofsky LR. Detection of microplastics in human lung tissue using  $\mu$ FTIR spectroscopy. *Sci Total Environ.* 2022;831:154907. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154907
49. Yan Z, Liu Y, Zhang T, Zhang F, Ren H, Zhang Y. Analysis of microplastics in human feces reveals a correlation between fecal microplastics and inflammatory bowel disease status. *Environ Sci Technol.* 2022;56(1):414-421. doi: 10.1021/acs.est.1c03924
50. Ragusa A, Svelato A, Santacroce C, *et al.* Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environ Int.* 2021;146:106274. doi: 10.1016/j.envint.2020.106274
51. Yee MSL, Hii LW, Looi CK, *et al.* Impact of microplastics and nanoplastics on human health. *Nanomaterials (Basel).* 2021;11(2):496. doi: 10.3390/nano11020496
52. Inkielewicz-Stepniak I, Tajber L, Behan G, *et al.* The role of mucin in the toxicological impact of polystyrene nanoparticles. *Materials (Basel).* 2018;11(5):724. doi: 10.3390/ma11050724
53. Liu X, Tian X, Xu X, Lu J. Design of a phosphinate-based bioluminescent probe for superoxide radical anion imaging in living cells. *Luminescence.* 2018;33(6):1101-1106. doi: 10.1002/bio.3515
54. Brown DM, Wilson MR, MacNee W, Stone V, Donaldson K. Size-dependent proinflammatory effects of ultrafine polystyrene particles: A role for surface area and oxidative stress in the enhanced activity of ultrafines. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2001;175(3):191-199. doi: 10.1006/taap.2001.9240
55. Fuchs AK, Syrovets T, Haas KA, *et al.* Carboxyl- and amino-functionalized polystyrene nanoparticles differentially affect the polarization profile of M1 and M2 macrophage subsets. *Biomaterials.* 2016;85:78-87. doi: 10.1016/j.biomaterials.2016.01.064
56. Veruva SY, Lanman TH, Isaza JE, Freeman TA, Kurtz SM, Steinbeck MJ. Periprosthetic UHMWPE wear debris induces inflammation, vascularization, and innervation after total disc replacement in the lumbar spine. *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(5):1369-1381. doi: 10.1007/s11999-016-4996-8
57. Nich C, Goodman SB. Role of macrophages in the biological reaction to wear debris from joint replacements. *J Long Term Eff Med Implants.* 2014;24(4):259-265. doi: 10.1615/jlongtermeffmedimplants.2014010562
58. McCarthy J, Gong X, Nahirney D, Duszyk M, Radomski M. Polystyrene nanoparticles activate ion transport in human airway epithelial cells. *Int J Nanomedicine.* 2011;6:1343-1356. doi: 10.2147/IJN.S21145
59. Mahler GJ, Esch MB, Tako E, *et al.* Oral exposure to polystyrene nanoparticles affects iron absorption. *Nat Nanotechnol.* 2012;7(4):264-271. doi: 10.1038/nnano.2012.3
60. Базунова М.В., Прочухан Ю.А. Способы утилизации отходов полимеров // Вестник Башкирского университета. 2008. Т. 13. № 4. С. 875–885.

## REFERENCES

- Savanina YaV, Barsky EL, Fomina IA, Lobakova ES. Pollution of aquatic medium by microparticle of polymers. *Informatsionnye Tekhnologii v Nauke, Obrazovanii i Upravlenii.* 2019;(2(12)):54-58. (In Russ.)
- Maslennikov SI, Shukina GF, Nazarets YP. Microplastics in the ocean – the new challenges of marine nature management. *Rybnoe Khozyaystvo.* 2017;(3):33-37. (In Russ.)
- Sokolov YI. Risks of total plastic pollution of the planet. *Problemy Analiza Riska.* 2020;17(3):30-43. (In Russ.) doi: 10.32686/1812-5220-2020-17-3-30-43
- Markova OL, Yeremin GB, Zaritskaya EV, Ganichev PA, Petrova MD. Bisphenol-A migration from polymer packaging material to bottled water and foodstuffs. International study findings. Analytical review. *Zdorov'e – Osnova Chelovecheskogo Potentsiala: Problemy i Puti Ikh Resheniya.* 2020;15(1):402-416. (In Russ.)
- Zaritskaya EV, Markova OL, Ganichev PA, Yeremin GB, Mikheeva AYU. Bisphenol A – To the question of food packaging hygienic safety. *Zdorov'e – Osnova Chelovecheskogo Potentsiala: Problemy i Puti Ikh Resheniya.* 2021;16(1):133-138. (In Russ.)
- Ganichev PA, Markova OL, Yeremin GB, Myasnikov IO. Effect of phthalates on population health. Brief literary review. *Zdorov'e – Osnova Chelovecheskogo Potentsiala: Problemy i Puti Ikh Resheniya.* 2020;15(1):233-239. (In Russ.)
- Yermachkova PA, Kravchenko AN, Zalata OA, Shibanov SE. Negative effects of microplastics: The target systems of the human body. In: Vlasenko RYa, ed. *Motivational Aspects of Physical Activity: Proceedings of the Fifth All-Russian Interdisciplinary Conference, Velikiy Novgorod, February 26, 2021.* Velikiy Novgorod: Yaroslav-the-Wise Novgorod State University Publ.; 2021:23-28. (In Russ.) doi: 10.34680/978-5-89896-739-0/2021.MAPHA.04
- Shkaeva IE, Solntseva SA, Nikulina OS, Nikolaev AI, Dulov SA, Zemlyanoy AV. Toxicity and hazard of phthalates (literature review). *Toksikologicheskii Vestnik.* 2019;(6(159)):3-9. (In Russ.) doi: 10.36946/0869-7922-2019-6-3-9
- Brakk DG. Ensuring environmental safety concerning the impact of plastic waste disposal on public health and the environment. *Ekonomicheskaya Bezopasnost'.* 2022;5(2):673-694. (In Russ.) doi: 10.18334/ecsec.5.2.114416

10. Batsukova NL. [Occupational hygiene at enterprises for the production and processing of synthetic polymer materials.] *Okhrana Truda*. 2013;(5(2)):421-427. (In Russ.)
11. Ibragimov IM, Samykina LN, Kosova LN. Some aspects of adaptic protection mechanisms at workers on manufacture of polymers. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra Rossiyskoy Akademii Nauk*. 2010;12(1-7):1825-1828. (In Russ.)
12. Samykina EV, Samykina LN, Kosova LN, Bogdanova RA. State of workers health at manufacture of products from low pressure polyethylene. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra Rossiyskoy Akademii Nauk*. 2010;12(1-7):1884-1886. (In Russ.)
13. Samykina EV, Samykina LN, Bogdanova RA. Studying the air of the working zone in manufacture of plastic products. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra Rossiyskoy Akademii Nauk*. 2011;13(1-7):1797-1800. (In Russ.)
14. Zhang J, Wang L, Trasande L, Kannan K. Occurrence of polyethylene terephthalate and polycarbonate microplastics in infant and adult feces. *Environ Sci Technol Lett*. 2021;8(11):989-994. doi: 10.1021/acs.estlett.1c00559
15. Rudakov OB, Rudakova LV. [Plastic nanoparticles – an actual contaminant of food products.] *Myasnye Tekhnologii*. 2019;(10(202)):48-51. (In Russ.) doi: 10.33465/2308-2941-2019-10-48-51
16. Ganichev PA. Human health effects of microplastics in drinking water: A review. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2021;29(9):40-43. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2021-29-9-40-43
17. Kornilov KN, Roeva NN. Detection of microplastic particles in vegetable oils. *Health, Food & Biotechnology*. 2020;2(1):62-70. (In Russ.) doi: 10.36107/hfb.2020.i1.s315
18. Sharma S, Sharma B, Dey Sadhu S. Microplastic profusion in food and drinking water: are microplastics becoming a macroproblem? *Environ Sci Process Impacts*. 2022;24(7):992-1009. doi: 10.1039/d1em00553g
19. Li Y, Peng L, Fu J, Dai X, Wang G. A microscopic survey on microplastics in beverages: the case of beer, mineral water and tea. *Analyst*. 2022;147(6):1099-1105. doi: 10.1039/d2an00083k
20. Carpenter EJ, Smith Jr KL. Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science*. 1972;175(4027):1240-1241. doi: 10.1126/science.175.4027.1240
21. Bagaev A, Esiukova E, Litvinyuk D, et al. Investigations of plastic contamination of seawater, marine and coastal sediments in the Russian seas: a review. *Environ Sci Pollut Res*. 2021;28(25):32264-32281. doi: 10.1007/s11356-021-14183-z
22. Ershova AA, Eremina TR, Makeeva IN, et al. Microplastic contamination of marine environment of the Barents and Kara Seas in 2019. *Gidrometeorologiya i Ekologiya*. 2022;(69):691-711. (In Russ.) doi: 10.33933/2713-3001-2022-69-691-711
23. Chubarenko IP, Esiukova EE, Khatmullina LI, Lobchuk OI, Isachenko IA, Bukanova TV. [Microplastics in the Marine Environment.] Moscow: Nauchnyy Mir Publ.; 2021. (In Russ.) Accessed May 18, 2023. <http://lamp.ocean.ru/wp-content/uploads/2022/01/book-full.pdf>
24. Avdonina NS, Sobolev NA. Seashore litters impact on biological resources of Arctic seas. *Arktika i Sever*. 2022;(47):260-267. (In Russ.) doi: 10.37482/issn2221-2698.2022.47.260
25. Frank YA, Vorobiev ED, Vorobiev DS, et al. Preliminary screening for microplastic concentrations in the surface water of the Ob and Tom Rivers in Siberia, Russia. *Sustainability*. 2021;13(1):80. doi: 10.3390/su13010080
26. Frank YA, Vorobiev DS, Kayler OA, et al. Evidence for microplastics contamination of the remote tributary of the Yenisei River, Siberia – The pilot study results. *Water*. 2021;13(22):3248. doi: 10.3390/w13223248
27. Lisina AA, Platonov MM, Lomakov OI, et al. Microplastic abundance in Volga River: Results of a pilot study in summer 2020. *Geography, Environment, Sustainability*. 2021;14(3):82-93. doi: 10.24057/2071-9388-2021-041
28. Il'ina OV, Kolobov MY, Il'inskiy VV. Plastic pollution of the coastal surface water in the middle and southern Baikal. *Water Resources*. 2021;48(1):56-64. doi: 10.31857/S0321059621010181
29. Derraik JGB. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Mar Pollut Bull*. 2002;44(9):842-852. doi: 10.1016/s0025-326x(02)00220-5
30. Frank YA, Vorobiev ED, Babkina IB, Antsiferov DV, Vorobiev DS. Microplastics in fish gut, first records from the Tom River in West Siberia, Russia. *Tomsk State University Journal of Biology*. 2020;(52):130-139. doi: 10.17223/19988591/52/7
31. Saprykin AI, Samoylov PP. *Micro- and Nanoplastics in the Environment (Analytics, Sources, Distribution and Environmental Issues): Analytical Review. Ecology Series. Issue 110*. Novosibirsk: State Public Scientific and Technical Library of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ.; 2021. (In Russ.)
32. Cole M, Lindeque P, Fileman E, Halsband C, Galloway TS. The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environ Sci Technol*. 2015;49(2):1130-1137. doi: 10.1021/es504525u
33. De Sá LC, Luís LG, Guilhermino L. Effects of microplastics on juveniles of the common goby (*Pomatoschistus microps*): Confusion with prey, reduction of the predatory performance and efficiency, and possible influence of developmental conditions. *Environ Pollut*. 2015;196:359-362. doi: 10.1016/j.envpol.2014.10.026
34. Au SY, Bruce TF, Bridges WC, Klaine SJ. Responses of *Hyalella azteca* to acute and chronic microplastic exposures. *Environ Toxicol Chem*. 2015;34(11):2564-2572. doi: 10.1002/etc.3093
35. Nikitin OV, Nasyrova EI, Kuzmin RS, Minnegulova LM, Latypova VZ, Ashihmina TYa. Effects of polystyrene microplastic particles on the morphological and functional parameters of *Daphnia magna*. *Teoreticheskaya i Prikladnaya Ekologiya*. 2022;(4):196-203. (In Russ.) doi: 10.25750/1995-4301-2022-4-196-203
36. Frank YA, Vorobiev DS, Vorobiev ED, Samarinova AA, Antsiferov DV, Strezov V. Ability of benthic oligochaetes to bury microplastics in aquatic bottom sediments. *Sci Total Environ*. 2023;857(Pt 3):159687. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159687
37. Biritskaya SA, Bukhaeva LB, Dolinskaya EM, et al. Study of the effect of microplastics particles on the Lake Baikal's endemic amphipods. *Baikal'skiy Zoologicheskii Zhurnal*. 2022;(1(31)):134-135. (In Russ.)
38. Simakova A, Varenitsina A, Babkina I, et al. Ontogenetic transfer of microplastics in bloodsucking mosquitoes *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) is a potential pathway for particle distribution in the environment. *Water*. 2022;14(12):1852. doi: 10.3390/w14121852
39. Kalpa VA, Voronin DP, Lantushenko AO. The effect of plastic decomposition products on the mechanical properties of hemocyte membranes of *Mytilus Galloprovinci*. *Aktual'nye Voprosy Biologicheskoy Fiziki i Khimii*. 2021;6(4):695-698. (In Russ.)
40. Fang C, Zheng R, Hong F, et al. Microplastics in three typical benthic species from the Arctic: Occurrence, characteristics, sources, and environmental implications. *Environ Res*. 2021;192:110326. doi: 10.1016/j.envres.2020.110326

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-5-41-51>  
Review Article

41. Peng L, Fu D, Qi H, Lan CQ, Yu H, Ge C. Micro- and nano-plastics in marine environment: Source, distribution and threats – A review. *Sci Total Environ.* 2020;698:134254. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134254
42. Campanale C, Galafassi S, Savino I, et al. Microplastics pollution in the terrestrial environments: Poorly known diffuse sources and implications for plants. *Sci Total Environ.* 2022;805:150431. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150431
43. Fogašová K, Manko P, Oboňa J. The first evidence of microplastics in plant-formed fresh-water micro-ecosystems: *Dipsacus teasel* phytotelmata in Slovakia contaminated with MPs. *BioRisk.* 2022;18:133-143. doi: 10.3897/biorisk.18.87433
44. Oliveri Conti G, Ferrante M, Banni M, et al. Micro- and nano-plastics in edible fruit and vegetables. The first diet risks assessment for the general population. *Environ Res.* 2020;187:109677. doi: 10.1016/j.envres.2020.109677
45. Sun XD, Yuan XZ, Jia Y, et al. Differentially charged nanoplastics demonstrate distinct accumulation in *Arabidopsis thaliana*. *Nat Nanotechnol.* 2020;15(9):755-760. doi: 10.1038/s41565-020-0707-4
46. Cox KD, Covernton GA, Davies HL, Dower JF, Juanes F, Dudas SE. Human consumption of microplastics. *Environ Sci Technol.* 2019;53(12):7068-7074. doi: 10.1021/acs.est.9b01517
47. Leslie HA, van Velzen MJM, Brandsma SH, Vethaak AD, Garcia-Vallejo JJ, Lamoree MH. Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environ Int.* 2022;163:107199. doi: 10.1016/j.envint.2022.107199
48. Jenner LC, Rotchell JM, Bennett RT, Cowen M, Tentzeris V, Sadofsky LR. Detection of microplastics in human lung tissue using  $\mu$ FTIR spectroscopy. *Sci Total Environ.* 2022;831:154907. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.154907
49. Yan Z, Liu Y, Zhang T, Zhang F, Ren H, Zhang Y. Analysis of microplastics in human feces reveals a correlation between fecal microplastics and inflammatory bowel disease status. *Environ Sci Technol.* 2022;56(1):414-421. doi: 10.1021/acs.est.1c03924
50. Ragusa A, Svelato A, Santacroce C, et al. Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environ Int.* 2021;146:106274. doi: 10.1016/j.envint.2020.106274
51. Yee MSL, Hii LW, Looi CK, et al. Impact of microplastics and nanoplastics on human health. *Nanomaterials (Basel).* 2021;11(2):496. doi: 10.3390/nano11020496
52. Inkielewicz-Stepniak I, Tajber L, Behan G, et al. The role of mucin in the toxicological impact of polystyrene nanoparticles. *Materials (Basel).* 2018;11(5):724. doi: 10.3390/ma11050724
53. Liu X, Tian X, Xu X, Lu J. Design of a phosphinate-based bioluminescent probe for superoxide radical anion imaging in living cells. *Luminescence.* 2018;33(6):1101-1106. doi: 10.1002/bio.3515
54. Brown DM, Wilson MR, MacNee W, Stone V, Donaldson K. Size-dependent proinflammatory effects of ultrafine polystyrene particles: A role for surface area and oxidative stress in the enhanced activity of ultrafines. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2001;175(3):191-199. doi: 10.1006/taap.2001.9240
55. Fuchs AK, Syrovets T, Haas KA, et al. Carboxyl- and amino-functionalized polystyrene nanoparticles differentially affect the polarization profile of M1 and M2 macrophage subsets. *Biomaterials.* 2016;85:78-87. doi: 10.1016/j.biomaterials.2016.01.064
56. Veruva SY, Lanman TH, Isaza JE, Freeman TA, Kurtz SM, Steinbeck MJ. Periprosthetic UHMWPE wear debris induces inflammation, vascularization, and innervation after total disc replacement in the lumbar spine. *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(5):1369-1381. doi: 10.1007/s11999-016-4996-8
57. Nich C, Goodman SB. Role of macrophages in the biological reaction to wear debris from joint replacements. *J Long Term Eff Med Implants.* 2014;24(4):259-265. doi: 10.1615/jlongtermeffmedimplants.2014010562
58. McCarthy J, Gong X, Nahirney D, Duszyk M, Radomski M. Polystyrene nanoparticles activate ion transport in human airway epithelial cells. *Int J Nanomedicine.* 2011;6:1343-1356. doi: 10.2147/IJN.S21145
59. Mahler GJ, Esch MB, Tako E, et al. Oral exposure to polystyrene nanoparticles affects iron absorption. *Nat Nanotechnol.* 2012;7(4):264-271. doi: 10.1038/nnano.2012.3
60. Bazunova MV, Prochukhan YA. [Methods of polymer waste disposal.] *Vestnik Bashkirskogo Universiteta.* 2008;13(4):875-885. (In Russ.)

#### Сведения об авторах:

✉ **Кизеев** Алексей Николаевич – к.б.н., старший научный сотрудник отдела исследований среды обитания и здоровья населения в Арктической зоне Российской Федерации; e-mail: [aleksei.kizeev@mail.ru](mailto:aleksei.kizeev@mail.ru); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8689-7327>.

**Сюрин** Сергей Алексеевич – д.м.н., главный научный сотрудник отдела исследований среды обитания и здоровья населения в Арктической зоне Российской Федерации; e-mail: [kola.reslab@mail.ru](mailto:kola.reslab@mail.ru); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0275-0553>.

**Информация о вкладе авторов:** концепция и дизайн исследования: *Сюрин С.А.*; сбор и анализ литературных источников: *Кизеев А.Н., Сюрин С.А.*; написание и редактирование текста, подготовка рукописи: *Сюрин С.А., Кизеев А.Н.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

**Соблюдение этических стандартов:** данное исследование не требует заключения комитета по биомедицинской этике или иных разрешающих документов.

**Финансирование:** исследование проведено без спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов:** авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 20.03.23 / Принята к публикации: 16.05.23 / Опубликовано: 31.05.23

#### Author information:

✉ **Aleksei N. Kizeev**, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Arctic Environmental Health Department, Northwest Public Health Research Center; e-mail: [aleksei.kizeev@mail.ru](mailto:aleksei.kizeev@mail.ru); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8689-7327>.

**Sergei A. Syurin**, Dr. Sci. (Med.), Chief Researcher, Arctic Environmental Health Department, Northwest Public Health Research Center; e-mail: [kola.reslab@mail.ru](mailto:kola.reslab@mail.ru); ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0275-0553>.

**Author contributions:** study conception and design: *Syurin S.A.*; collection and analysis of literary sources: *Kizeev A.N., Syurin S.A.*; draft manuscript preparation, editing: *Syurin S.A., Kizeev A.N.* Both authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

**Compliance with ethical standards:** Not applicable.

**Funding:** The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

**Conflict of interest:** The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: March 20, 2023 / Accepted: May 16, 2023 / Published: May 31, 2023