

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.5.2>

ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЯ МИРОВОГО ОКЕАНА МИКРОПЛАСТИКОМ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

Обзор

Бабичев Р.Р.^{1,*}

¹ORCID : 0009-0001-2721-4960;

¹Школа № 2070, Москва, Российская Федерация

¹Московский городской педагогический университет, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ven.freesz[at]gmail.com)

Аннотация

Загрязнение окружающей среды — одна из самых актуальных проблем современного мира, и микропластик занимает важное место в этом обсуждении. Пластиковые частицы размером менее пяти миллиметров становятся все более важным загрязнителем, оказывающим разрушительное воздействие на морские экосистемы. Он попадает в морскую среду через бытовые и промышленные отходы, а также в результате распада более крупного пластика. Несмотря на свой микроскопический размер, эти частицы представляют серьезную угрозу, поскольку попадают в организм морских организмов, нарушая пищевую цепочку и угрожая биоразнообразию. Воздействие на океан многогранно и сложно. Токсичные вещества могут попадать в организм рыб и других водных организмов изменяя их физиологическое состояние и угрожая всей пищевой сети. Поскольку загрязнение пластиком приводит к изменению структуры сообществ, сокращению биоразнообразия и ухудшению экосистемы, которые тесно связаны и взаимодействуют друг с другом, оказываются под непосредственным влиянием. Это может нанести вред не только отдельным видам, но и всей глобальной экосистеме, которая играет важную роль в поддержании стабильности климата Земли. Кроме того, угроза, затрагивает не только морскую среду, но и человека. Что, в свою очередь, влияет на здоровье человека, вызывая различные заболевания и аллергические реакции. Проблема микропластика в океане требует глобального осознания и решительных действий. Ведь его количество неуклонно растет, и в будущем ситуация может достигнуть критической точки, такой как сокращение выбросов и улучшение систем очистки воды.

Ключевые слова: микропластик, загрязнение, окружающая среда, мировой океан.

THE PROBLEM OF MICROPLASTIC POLLUTION IN THE WORLD'S OCEANS AND WAYS TO SOLVE IT

Review article

Babichev R.R.^{1,*}

¹ORCID : 0009-0001-2721-4960;

¹School № 2070, Moscow, Russian Federation

¹Moscow City Teacher Training University, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (ven.freesz[at]gmail.com)

Abstract

Environmental pollution is one of the most pressing issues facing the world today, and microplastics are an important part of this discussion. Plastic particles smaller than five millimeters in size are becoming an increasingly important pollutant that has a devastating impact on marine ecosystems. They enter the marine environment through household and industrial waste, as well as through the breakdown of larger plastics. Despite their microscopic size, these particles pose a serious threat as they are ingested by marine organisms, disrupting the food chain and threatening biodiversity. The impact on the ocean is multifaceted and complex. Toxic substances can ingest by fish and other aquatic organisms, altering their physiological state and threatening the entire food web. Since plastic pollution alters community structure, reduces biodiversity and degrades ecosystems that are closely linked and interact with each other, they are directly affected. This can harm not only individual species, but also the entire global ecosystem, which plays an important role in maintaining the stability of the Earth's climate. In addition, the threat affects not only the marine environment, but also humans. Which in turn affects human health, causing various diseases and allergic reactions. The problem of microplastics in the ocean requires global awareness and decisive action. After all, its amount is steadily increasing, and in the future the situation may reach a critical point, such as reducing emissions and improving water purification systems.

Keywords: microplastics, pollution, environment, world ocean.

Введение

Микропластик образуется в результате распада более крупных фракций и представляет собой серьезную проблему для Мирового океана. Их малый размер делает их особенно опасными, поскольку их трудно обнаружить и удалить из окружающей среды, они распространяются на большие территории. Существует несколько важных причин их появления. Одна из них — большое количество выбрасываемых человеком пластиковых отходов, которые под воздействием солнца, ветра и волн постепенно распадаются на мелкие кусочки. Кроме того, значительное количество пластика попадает в океан из сточных вод при стирке синтетической одежды и использовании косметики. Эти частицы не до конца удаляются на стадии очистки сточных вод из-за отсутствия соответствующих фильтров, поэтому они попадают в водоемы и в конечном итоге оказываются в океане. Термин «микропластик» впервые появился в начале XXI века, когда ученые стали пристальнее присматриваться к распространению пластикового загрязнения и его

влиянию на окружающую среду. С тех пор интерес к этой теме возрос, поскольку стало ясно, что проблема оказывает значительное влияние не только на морские экосистемы, но и на здоровье человека через пищевую цепочку. Накопление в морских акваториях осложняется тем, что различные виды пластика, такие как полиэтилен, полипропилен и полистирол, которые часто встречаются в микропластике, обладают разной устойчивостью к биоразложению. Поэтому понимание происхождения необходимо для разработки эффективных мер по сокращению его количества в окружающей среде. Исследования в этой области продолжаются, и для борьбы нам необходим комплексный подход, включающий как международные усилия, так и индивидуальную ответственность за сокращение использования пластика в повседневной жизни.

Методы исследования загрязнения

Для исследования и мониторинга микропластика в океане используется ряд методов, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения. Основное внимание уделяется двум аспектам: количественная оценка загрязнения и определение его состава и источника. Одним из наиболее распространенных методов является отбор проб воды и осадков с последующим лабораторным анализом. Микропластик собирают из воды с помощью специализированных сетей, таких как мантийные сети или мелкочаеистые сети для отделения частиц размером до 300 микрон [1]. Более мелкие частицы могут быть собраны путем фильтрации через микропористые мембраны. Важно отметить, что выбор подходящей сетки или фильтра зависит от конкретных условий исследования и ожидаемого размера частиц. После отбора проб необходимо определить состав. Многие лаборатории используют инфракрасную (ИК картирование) и рамановскую спектроскопию для определения полимерных свойств частиц (рисунок 1, 2).

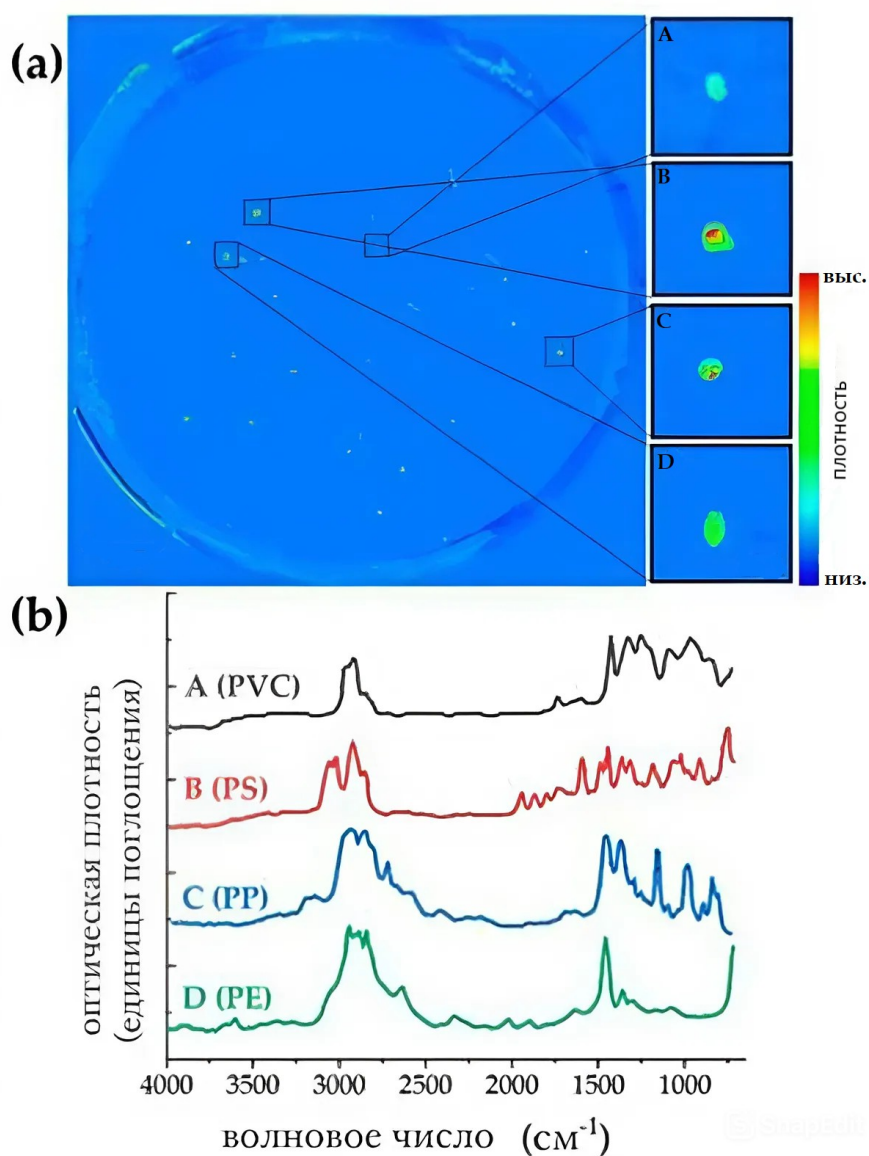


Рисунок 1 – Пример распознавания частиц с помощью микро-ИК картирования:
 а – изображение полного поглощения в окне спектров (4000–750 см^{-1}); б – ИК-Фурье спектры выбранных и увеличенных фрагментов микропластика, позволяющие распознавать материалы (PVC, PS, PP, PE)

DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.5.2.1>

Примечание: по ист. [4]

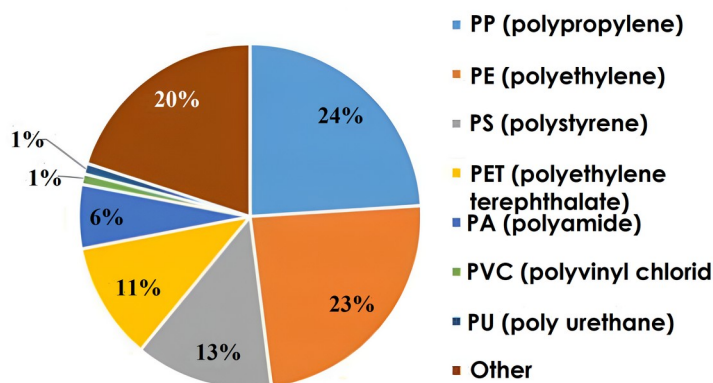


Рисунок 2 - Состав микропластика, обнаруженного в образцах воды:
PP – полипропилен; *PE* – полиэтилен; *PS* – полистерол; *PET* – полиэтилентерефталат; *PA* – полиамид; *PVC* – поливинил хлорид; *PU* – полиуретан; *other* – другие
 DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.5.2.2>

Примечание: по ист. [9]

Также используется масс-спектрометрия, особенно в случаях, требующих высокой точности анализа. Современные разработки в области анализа включают использование автоматизированных систем и методов, таких как методы фотонаведения и машинного обучения, для распознавания и классификации собранных частиц. Эти методы снижают вероятность субъективной точности оператора и значительно повышают скорость обработки данных. Для мониторинга распределения пластика в океане также используются более масштабные технологии, такие как дистанционное зондирование и беспилотные летательные аппараты, способные обследовать большие участки водной поверхности. Однако техническая сложность и ограничения по разрешению в настоящее время препятствуют их широкому применению, требуется дальнейшее развитие технологий. Это будет способствовать более точной оценке воздействия микропластика на морские экосистемы и разработке эффективных стратегий смягчения последствий.

Современное состояние проблемы

Масштабы загрязнения мирового океана вызывает серьезную озабоченность ученых и экологов. Согласно исследованиям, ежегодно в океан попадает от 4,8 до 12,7 миллиона тонн пластиковых отходов [12]. Географическое распределение в океане сильно варьируется, от поверхностных вод до морских глубин, включая самые отдаленные и нетронутые районы планеты (рисунок 3, 4). Основные очаги загрязнения сосредоточены в районах с сильными океаническими течениями, например, в Тихоокеанском мусорном поясе [13]. Здесь происходит скопление пластика в больших количествах, угрожая морской жизни. Океан — динамичная система, и микропластик в нем находится в постоянном движении под воздействием течений, ветров и взаимодействия с морской биотой [11]. Эти частицы переносятся на большие расстояния и могут загрязнять самые отдаленные экосистемы, такие как Арктика и Антарктика. Кроме того, он обнаруживается не только на поверхности воды, но и в толще воды, на морском дне и в теле морских организмов — от планктона до крупных китообразных. Количество пластмасс в Мировом океане продолжает увеличиваться из-за недостаточной переработки пластиковых отходов. Однако проблема усугубляется тем, что во многих странах, особенно развивающихся, отсутствуют эффективные системы утилизации отходов. Опасность заключается не только в его количестве, но и в его долговечности. Микропластик плохо поддается биологическому разложению и поэтому остается в экосистемах на протяжении десятилетий. Исследования показали, что концентрация в воде колеблется от нескольких до более тысячи частиц на кубический метр, в зависимости от региона и степени загрязнения, а также влияет на пищевую цепочку и может нарушить естественные процессы в морской среде, создавая среду для токсичных химических веществ. По прогнозам экспертов, если не принять срочных мер по снижению загрязнения, количество частиц может утроиться к 2050 году, что приведет к необратимым изменениям в морских экосистемах.

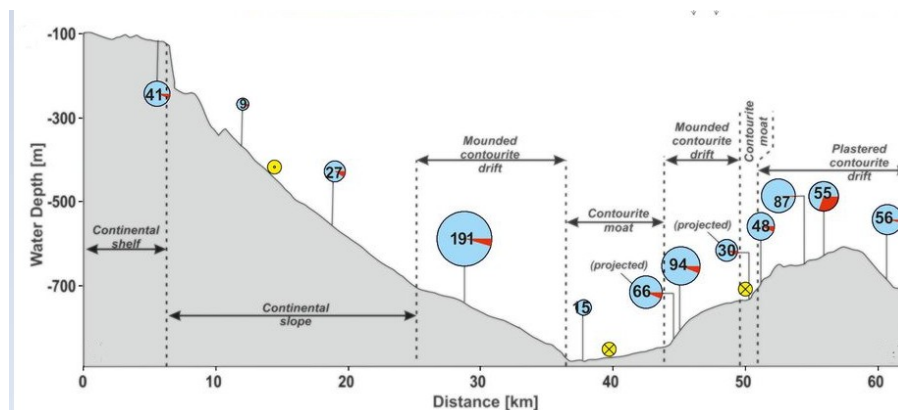


Рисунок 3 - Распределение микропластика по профилю морского дна
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.5.2.3>

Примечание: высокие концентрации в толще контуритов; более низкие зоны, где образуются холмистые контуритовые наносы, характеризуются самыми высокими концентрациями микропластика; по ист. [12]

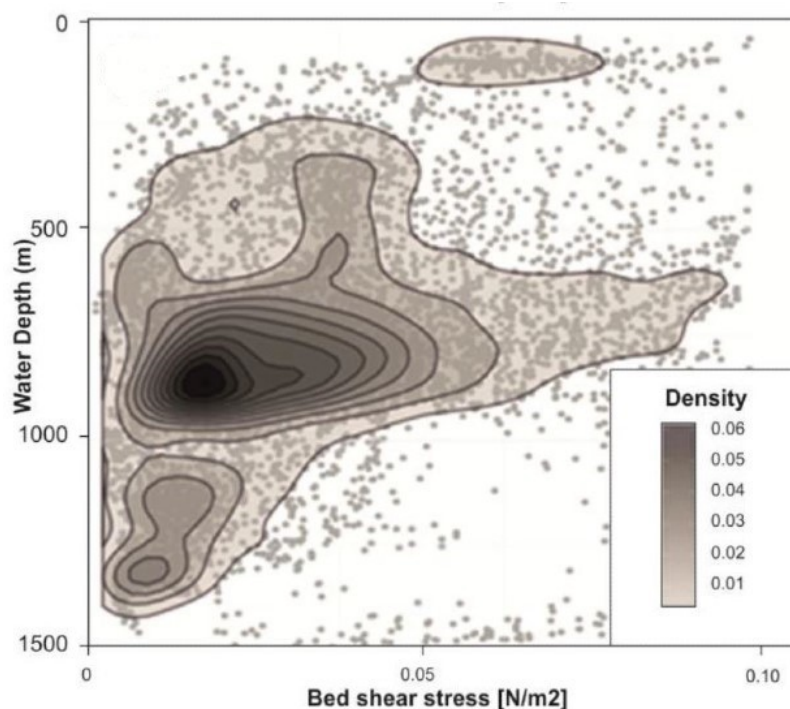


Рисунок 4 - Модель распределения микропластика в морской толще с глубиной
DOI: <https://doi.org/10.60797/GEO.2025.5.2.4>

Примечание: изменение цвета от светлого к темному означает увеличение плотности его скоплений — максимум наблюдается на глубине 600-800 метров; по ист. [12]

Одним из самых важных последствий загрязнения является воздействие на планктон — основу морской пищевой цепи. Планктон, особенно зоопланктон, принимает микропластик за пищу. В результате у них снижается мотивация питаться естественными источниками пищи, что приводит к сокращению запасов энергии и проблемам с воспроизводством. Это, в свою очередь, приводит к сокращению численности видов, зависящих от зоопланктона, таких как многие виды рыбы и морские млекопитающие. Это может повлиять на целые популяции организмов, нарушить баланс экосистем и привести к снижению биоразнообразия и устойчивости морских сообществ. Существует также угроза коралловым рифам. Попадая в экосистему коралловых рифов, частицы микропластика блокируют свет и снижают фотосинтетическую активность симбиотических водорослей, которыми питаются кораллы. Это ослабляет и даже убивает коралловые колонии, подвергая опасности многие виды, живущих на рифах. Морские птицы и

млекопитающие, такие как киты и дельфины, тоже не остаются в стороне. Микропластик можно принять за пищу, поскольку по внешнему виду он напоминает натуральные продукты. При проглатывании они часто остаются в желудке животного и занимают место, необходимое для полноценного приема пищи. В результате эти виды становятся истощенными, что приводит к увеличению смертности и усилению воздействия на экосистему в целом [6]. Таким образом, оказывается сложное и многогранное воздействие на морские экосистемы. Оно влияет на все уровни пищевой сети, от мельчайших организмов до крупнейших млекопитающих. Океаны и моря являются важным источником белка для многих обществ, особенно в прибрежных районах, где рыболовство занимает центральное место в экономике. В результате морепродукты неизбежно становятся путем попадания в организм человека. Исследования показали, что содержащиеся в пластике соединения, такие как фталаты и бисфенол «А», вызывают эндокринные нарушения и связаны с целым рядом заболеваний, включая рак, бесплодие и нарушения обмена веществ. Поскольку частицы пластика становятся достаточно мелкими, и проникают в ткани живых организмов, повышая риск биоаккумуляции токсичных веществ в пищевой цепи. Кроме того, пластик обладает способностью адсорбировать на своей поверхности органические загрязнители, в том числе промышленные химикаты [5]. Активные научные исследования влияния на организм человека еще продолжаются. Однако уже сейчас ясно, что для минимизации будущих рисков необходимы срочные меры. Эти меры включают в себя внедрение технологий переработки и восстановления, сокращение производства одноразовых пластиковых изделий.

Предлагаемые пути решения проблемы

Одним из наиболее перспективных и активных направлений является разработка механических фильтров и сеток, специально предназначенных для улавливания частиц пластика. Эти системы могут быть установлены в местах скопления отходов, таких как эстуарии и гавани, чтобы предотвратить попадание в открытое море. Кроме того, все большую популярность набирает биоремедиация как экологически чистый метод очистки. Использование определенных штаммов бактерий и ферментов, способных расщеплять пластиковые соединения на более безвредные компоненты, становится все более распространенным. Некоторые бактерии уже продемонстрировали способность разлагать пластик в контролируемых лабораторных условиях, и ученые работают над тем, чтобы довести эти процессы до уровня, пригодного для повсеместного использования [8]. Химическая переработка также остается важной областью исследований. Разработка новых реагентов, способных расщеплять пластик на молекулярном уровне, может значительно сократить количество в океане. Эти технологии требуют тщательной калибровки, чтобы свести к минимуму потенциальное негативное воздействие на морскую жизнь. Важным аспектом минимизации загрязнения является улучшение управления отходами на суше. Переход на биоразлагаемые пластики и укрепление систем переработки твердых бытовых отходов могут значительно сократить количество пластика, попадающего в океан [3]. Страны по всему миру инвестируют в инфраструктуру сбора и переработки отходов, а также реализуют программы по повышению осведомленности населения и поощрению вторичной переработки. Последние усилия по очистке океанов включают использование автоматизированных систем и робототехники. Такие устройства, как плавающие беспилотники и автономные роботы-сборщики, могут эффективно контролировать и очищать большие площади океана, работая автономно и непрерывно собирая данные о концентрации микропластика. В последние годы международные организации и правительства начали более тесно сотрудничать в разработке и реализации стратегий по снижению загрязнения. Одной из наиболее важных инициатив является Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП), которая запустила Глобальный план действий по защите морской среды от наземных источников загрязнения. ЮНЕП работает над повышением осведомленности общественности о воздействии и минимизацией загрязнения, активно содействует разработке национальных стратегий по их минимизации [7]. Одна из главных целей программы — улучшить управление отходами и способствовать переходу к циркулярной экономике. Также в 2015 году было принято Глобальное соглашение по морскому мусору, которое включает в себя конкретные действия по снижению пластикового загрязнения для стран Группы 20 (G20). В Соглашении подчеркивается необходимость разработки инновационных решений, таких как передовые технологии переработки и альтернативные биопластики. Европейский союз (ЕС) также занял активную позицию в борьбе, введя правила, ограничивающие использование одноразового пластика и частиц в косметике. Директива ЕС по пластику, которая вступит в силу в 2021 году, будет стимулировать государства-члены к разработке национальных планов действий по сокращению пластиковых отходов и направлена на создание более строгой правовой базы [2]. Некоторые страны приняли конкретные меры на национальном уровне, например, запретили производство и продажу продуктов, содержащих пластик. Например, Канада и Норвегия приняли законодательство, строго регламентирующее использование микропластика и поощряющее разработку более экологичных продуктов. Наконец, некоммерческие организации и исследовательские центры играют важную роль в изучении и внедрении инновационных подходов к решению проблемы. Программа «Seabap» и проект «Ocean Cleanup» — примеры того, как можно изменить ситуацию, используя передовые технологии для сбора и переработки морских пластиковых отходов [5].

Заключение

Микропластик в океанах — одна из самых серьезных экологических проблем современности. Его мелкие частицы проникают в водные экосистемы и негативно влияют на морскую флору и фауну. Учитывая масштаб и серьезность этой угрозы, необходимо рассмотреть способы минимизации воздействия как на окружающую среду, так и на здоровье человека. Одним из основных подходов к сокращению количества морского пластика является улучшение управления отходами. Это включает в себя развитие инфраструктуры для переработки отходов и использование технологий, позволяющих лучше разделять их. Чтобы уменьшить количество пластика, попадающего в океан, страны должны активно работать над созданием и внедрением более эффективных систем сортировки, сбора и переработки. Международные соглашения и сотрудничество играют важную роль в предотвращении загрязнения. Странам следует активизировать усилия по выполнению таких конвенций, как Конвенция по морскому праву, и различных

региональных программ, направленных на мониторинг и сокращение выбросов. Такое международное сотрудничество позволит улучшить мониторинг потоков пластиковых отходов и внедрить единые стандарты по их утилизации. Важна также роль частного сектора и технологических инноваций. Компании должны взять на себя ответственность за внедрение более экологичных методов, таких как разработка биоразлагаемых материалов и технологий очистки воды. Также важно инвестировать в исследования и разработку новых методов снижения загрязнения. Например, следует поддерживать проекты по разработке биотехнологий для расщепления пластика и механических средств для удаления его из воды. Образование и информирование общественности также имеет большое значение. Просвещение населения о важности ответственного потребления и сокращения использования одноразовых пластиковых изделий поможет изменить поведение потребителей и снизить загрязнение в долгосрочной перспективе. Применяя комплексный подход, включающий законодательные меры, технологические инновации, международное сотрудничество и образовательные инициативы, можно значительно снизить угрозу, которую представляет для океанов и связанных с ними экосистем.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Adlish J.I. Polyethylene Identification in Ocean Water Samples by Means of 50 keV Energy Electron Beam / J.I. Adlish, D. Costa, E. Mainardi [et al.] // Instruments. — 2020. — № 4. — P. 32. — DOI: 10.3390/instruments4040032.
2. Aoki K. A model for the size distribution of marine microplastics: A statistical mechanics approach / K. Aoki, R. Furue // PLoS ONE. — 2021. — № 16 (11). — Art. e0259781. — DOI: 10.1371/journal.pone.0259781.
3. Козловский Н.В. Микропластик — макропроблема мирового океана / Н.В. Козловский, Я.Ю. Блиновская // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 10-1. — С. 159–162.
4. Bellasi A. Microplastic Contamination in Freshwater Environments: A Review, Focusing on Interactions with Sediments and Benthic Organisms / A. Bellasi, G. Binda, A. Pozzi [et al.] // Environments. — 2020. — № 7. — P. 30. — DOI: 10.3390/environments7040030.
5. Бурак Л.Ч. Загрязнение микропластиком окружающей среды и потенциальные угрозы для здоровья человека / Л.Ч. Бурак, М.И. Писарик, Н.П. Богданов // Научное обозрение. Биологические науки. — 2024. — № 2. — С. 33–40. — DOI: 10.17513/srbs.1362.
6. George M. A threshold model of plastic waste fragmentation: New insights into the distribution of microplastics in the ocean and its evolution over time / M. George, F. Nallet, P. Fabre // Marine Pollution Bulletin. — 2024. — Vol. 199. — P. 116012. — DOI: 10.1016/j.marpolbul.2023.116012.
7. Guerrini F. An integrated model of the coupled dynamics of marine microplastics and plastic-associated organic pollutants / F. Guerrini, L. Mari, R. Casagrandi // arXiv preprint arXiv:2108.04141. — 2021.
8. Карпова Е. Как пластик отравляет мировой океан / Е. Карпова. — ФИЦ ИнБЮМ, 2021.
9. Lee K. Assessment of microplastics in freshwater systems: a review / K. Lee, R. Busquets, L.C. Campos // Environmental Science. — 2019. — 65 p.
10. Pabortsava K. The Atlantic Ocean hid microplastic particles under the surface / K. Pabortsava, R.S. Lampitt // N+1. — 2020.
11. Суворова А.А. Микропластик в океане: обзор проблемы и актуальные направления исследований / А.А. Суворова // Экология гидросферы. — 2021. — DOI: 10.33624/2587-9367-2021-1(6)-1-7.
12. Kane I.A. Seafloor microplastic hotspots controlled by deep-sea circulation / I.A. Kane [et al.] // Science. — 2020. — DOI: 10.1126/science.aba5899.
13. Lebreton L. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic / L. Lebreton, B. Slat, F. Ferrari [et al.] // Sci Rep. — 2018. — № 8. — Art. 4666. — DOI: 10.1038/s41598-018-22939-w.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Adlish J.I. Polyethylene Identification in Ocean Water Samples by Means of 50 keV Energy Electron Beam / J.I. Adlish, D. Costa, E. Mainardi [et al.] // Instruments. — 2020. — № 4. — P. 32. — DOI: 10.3390/instruments4040032.
2. Aoki K. A model for the size distribution of marine microplastics: A statistical mechanics approach / K. Aoki, R. Furue // PLoS ONE. — 2021. — № 16 (11). — Art. e0259781. — DOI: 10.1371/journal.pone.0259781.
3. Kozlovskii N.V. Mikroplastik — makroproblema mirovogo okeana [Microplastics — a macro problem of the world ocean] / N.V. Kozlovskii, Ya.Yu. Blinovskaya // Mezhdunarodnii zhurnal prikladnikh i fundamentalnikh issledovaniy [International Journal of Applied and Fundamental Research]. — 2015. — № 10-1. — P. 159–162. [in Russian]
4. Bellasi A. Microplastic Contamination in Freshwater Environments: A Review, Focusing on Interactions with Sediments and Benthic Organisms / A. Bellasi, G. Binda, A. Pozzi [et al.] // Environments. — 2020. — № 7. — P. 30. — DOI: 10.3390/environments7040030.
5. Burak L.Ch. Zagryaznenie mikroplastikom okruzhayushchei sredi i potentsialnie ugrozi dlya zdorovya cheloveka [Microplastic pollution of the environment and potential threats to human health] / L.Ch. Burak, M.I. Pisarik, N.P. Bogdanov //

Nauchnoe obozrenie. Biologicheskie nauki [Scientific Review. Biological Sciences]. — 2024. — № 2. — P. 33–40. — DOI: 10.17513/srbs.1362. [in Russian]

6. George M. A threshold model of plastic waste fragmentation: New insights into the distribution of microplastics in the ocean and its evolution over time / M. George, F. Nallet, P. Fabre // *Marine Pollution Bulletin*. — 2024. — Vol. 199. — P. 116012. — DOI: 10.1016/j.marpolbul.2023.116012.

7. Guerrini F. An integrated model of the coupled dynamics of marine microplastics and plastic-associated organic pollutants / F. Guerrini, L. Mari, R. Casagrandi // *arXiv preprint arXiv:2108.04141*. — 2021.

8. Karpova Ye. Kak plastik otravlyayet mirovoi okean [How plastic poisons the world's oceans] / Ye. Karpova. — FITZ InBUM, 2021. [in Russian]

9. Lee K. Assessment of microplastics in freshwater systems: a review / K. Lee, R. Busquets, L.C. Campos // *Environmental Science*. — 2019. — 65 p.

10. Pabortsava K. The Atlantic Ocean hid microplastic particles under the surface / K. Pabortsava, R.S. Lampitt // *N+1*. — 2020.

11. Suvorova A.A. Mikroplastik v okeane: obzor problemi i aktualnie napravleniya issledovaniy [Microplastics in the ocean: a review of the problem and current research directions] / A.A. Suvorova // *Ekologiya gidrosferi* [Ecology of the hydrosphere]. — 2021. — DOI: 10.33624/2587-9367-2021-1(6)-1-7. [in Russian]

12. Kane I.A. Seafloor microplastic hotspots controlled by deep-sea circulation / I.A. Kane [et al.] // *Science*. — 2020. — DOI: 10.1126/science.aba5899.

13. Lebreton L. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic / L. Lebreton, B. Slat, F. Ferrari [et al.] // *Sci Rep*. — 2018. — № 8. — Art. 4666. — DOI: 10.1038/s41598-018-22939-w.