



UO'K: 574.64:591.9

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЯМ УЧЁНЫХ РАЗНЫХ СТРАН МИРА ПО МИКРОПЛАСТИКОВЫМ ЧАСТИЦАМ**MIKROPLASTIK ZARRALAR BO'YICHA DUNYONING TURLI MAMLAKATLARIDAGI OLIMLARNING TADQIQOT ISHLARI BO'YICHA ADABIYOTLAR TAHLILI****REVIEW OF STUDIES ON MICROPLASTIC PARTICLES BY SCIENTISTS FROM DIFFERENT COUNTRIES****Хусанов Алижон Каримович¹** ¹Андижанский Государственный Университет, профессор**Абдувалиева Мавлюда Акмалжон кизи²** ²Андижанский Государственный Университет, магистр**Анваржонов Шохрухбек Арслонбек угли³** ³Андижанский Государственный Университет, магистр**Аннотация**

Настоящий обзор посвящён систематизации и анализу современных научных данных о распространении микропластика в водных экосистемах и его воздействию на гидробионтов. Целью работы является выявление закономерностей миграции микропластических частиц в пресных и морских водоёмах, а также оценка их потенциальной угрозы для водных организмов и человека. В процессе подготовки обзора использован аналитический метод с опорой на актуальные публикации отечественных и зарубежных исследователей, обобщены результаты натуральных наблюдений, лабораторных экспериментов и модельных оценок. Особое внимание уделено изучению микропластика в пресноводных экосистемах, которые традиционно оставались менее исследованными по сравнению с морской средой. Подчёркивается значимость речных систем как путей транспортировки микропластика и его накопления в донных отложениях. Рассмотрены вопросы биодоступности микропластика для гидробионтов, его способности адсорбировать токсичные соединения, а также риски биоаккумуляции по пищевым цепям. Выявлено, что микропластик представляет собой не только физическую угрозу водным организмам, но и потенциальный химический вектор загрязнителей, что усугубляет его экологическое воздействие. Обобщённые данные подчёркивают необходимость дальнейших междисциплинарных исследований и разработки профилактических мер для минимизации последствий микропластикового загрязнения в водных экосистемах.

Annotatsiya

Ushbu Adabiyotlar sharhi suv ekotizimlarida mikroplastiklarning tarqalishi va uning suv organizmlariga ta'siri bo'yicha zamonaviy ilmiy malumotlarni tizimlashtirish va tahlil qilishga bag'ishlangan. Ishning maqsadi chuchuk suv va dengiz suv omborlarida mikroplastik zarralarining migratsiya qonuniyatlarini aniqlash, shuningdek, ularning suv organizmlari va odamlar uchun potentsial xavfini baholashdir. Sharhni tayyorlash jarayonida mahalliy va xorijiy tadqiqotchilarning joriy nashrlari asosida analitik usul qo'llanilgan, dala kuzatuvlari, laboratoriya tajribalari va model baholash natijalari umumlashtirilgan. Dengiz muhitiga nisbatan an'anaviy ravishda kamroq o'rganilgan chuchuk suv ekotizimlarida mikroplastiklarning o'rganilishiga alohida e'tibor qaratilgan. Daryo tizimlarining mikroplastiklarning tashilishi yo'llari sifatida ahamiyati va uning tub cho'kindilarida to'planishi ta'kidlangan. Mikroplastiklarning suv organizmlari uchun bioavailableligi, uning toksik birikmalarni adsorbsiyalash qobiliyati, shuningdek, oziq-ovqat zanjirlari bo'ylab bioakkumulyatsiya xavflari masalalari ko'rib chiqilgan. Mikroplastiklar nafaqat suv organizmlari uchun fizik xavf tug'dirishi, balki ifloslantiruvchi moddalarning potentsial kimyoviy tashuvchisi sifatida ham xizmat qilishi aniqlangan, bu esa uning ekologik ta'sirini yanada kuchaytiradi. Umumlashtirilgan ma'lumotlar suv ekotizimlarida mikroplastik ifloslanishining ta'sirini minimallashtirish uchun keyingi fanlararo tadqiqotlar va profilaktik choralar ishlab chiqish zarurligini ta'kidlaydi.

Abstract

This review is devoted to the systematization and analysis of modern scientific data on the distribution of microplastics in aquatic ecosystems and its effects on aquatic organisms. The aim of the work is to identify patterns of migration of microplastic particles in freshwater and marine reservoirs, as well as to assess their potential threat to aquatic organisms and humans. In the process of preparing the review, an analytical method was used based on current publications by domestic and foreign researchers, and the results of field observations, laboratory experiments, and model estimates were summarized. Special attention is paid to the study of microplastics in freshwater ecosystems,

which have traditionally remained less studied than in the marine environment. The importance of river systems as ways of transporting microplastics and its accumulation in bottom sediments is emphasized. The issues of bioavailability of microplastics for aquatic organisms, its ability to adsorb toxic compounds, as well as the risks of bioaccumulation along food chains are considered. It has been revealed that microplastics pose not only a physical threat to aquatic organisms, but also a potential chemical vector of pollutants, which exacerbates its environmental impact. The summarized data emphasize the need for further interdisciplinary research and the development of preventive measures to minimize the effects of microplastic pollution in aquatic ecosystems.

Ключевые слова: пластик, загрязнение, бакелит, экология, пищевые цепи, экосистемы, водные организмы, континенты

Kalit soʻzlar: plastmassa, ifloslanish, bakelit, ekologiya, oziq-ovqat zanjirlari, ekotizimlar, suv organizmlari, qitʼalar

Key words: plastic, pollution, bakelite, ecology, food chains, ecosystems, aquatic organisms, continents

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия человечество столкнулось с масштабной экологической проблемой, связанной с интенсивным ростом производства синтетических полимеров и их попаданием в природную среду. Пластиковые отходы стали повсеместным компонентом антропогенного загрязнения, включая водные экосистемы, куда они поступают как по естественным, так и по техногенным каналам. По данным ряда авторов, ежегодный объём пластика, проникающего в окружающую среду, достигает десятков миллионов тонн [23; 8].

Особое внимание научного сообщества привлекает микропластик — частицы пластика размером менее 5 мм, способные распространяться в атмосфере, воде и почве, вовлекаться в биотические процессы и проникать в организмы на разных уровнях трофических цепей [33; 29]. Исследования подтверждают его присутствие как в морских, так и в пресноводных экосистемах. При этом в ряде пресных водоёмов зафиксированы концентрации, сопоставимые или даже превышающие уровни, обнаруженные в морской среде [27; 4; 11].

Речные системы рассматриваются в качестве ключевых путей переноса микропластика из континентальных областей в океаны, а также как зоны активного накопления микропластических частиц в донных отложениях [40; 50; 43; 42]. Присутствие микропластика в водной среде создаёт потенциальную угрозу для гидробионтов, особенно рыб и беспозвоночных, которые могут не только накапливать инородные частицы, но и служить источником их дальнейшего переноса по пищевым цепям [45; 7; 2].

Углубляет проблему тот факт, что микропластик способен адсорбировать на своей поверхности токсичные химические соединения, включая стойкие органические загрязнители, тяжёлые металлы и пластификаторы, повышая тем самым риски биоаккумуляции [53; 1; 30]. Наличие этих веществ усиливает негативное влияние микропластика на здоровье организмов, в том числе потенциально и на человека, поскольку многие гидробионты входят в его пищевой рацион.

Несмотря на возрастающий интерес к проблеме микропластика, особенно в морской среде, пресноводные экосистемы остаются менее изученными. Недостаточно данных о воздействии микропластика на виды, обитающие в озёрах, реках и водохранилищах, особенно на экономически важные и промысловые организмы [21; 26; 12; 31].

Таким образом, анализ экологических последствий микропластика в пресноводных водоёмах представляет собой не только актуальную научную задачу, но и имеет практическое значение для оценки риска экологического и пищевого загрязнения.

МАСШТАБЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МИКРОПЛАСТИКА НА МИРОВОМ УРОВНЕ

Проблема микропластиков привлекла внимание учёных ещё в 1970-х годах, когда в водах мирового океана начали фиксироваться пластиковые частицы, разрушающиеся на мелкие фрагменты. Первоначально исследования были сосредоточены на морских экосистемах, где пластиковые отходы наиболее заметно накапливались и представляли угрозу для морской фауны. В 2004 году команда учёных под руководством Thompson провела ключевое исследование, выявив накопление микропластиков в морской воде и показав, что их воздействие на морские организмы может быть разрушительным. Это стало важной вехой, способствующей активизации исследований, которые направлены на

BIOLOGIYA

понимание долгосрочных последствий попадания микропластиков в океаны и морские среды [46].

Дальнейшие работы, такие как исследование Barnes и его коллег (2009), продемонстрировали, что микропластики стали глобальной экологической угрозой. Они присутствуют практически в каждой части мировой акватории, что делает проблему более масштабной, чем считалось ранее [5]. Уровень загрязнения мирового океана микропластиками, который возрастает с каждым годом, стал предметом дальнейших исследований. Исследование Law et al. (2010) показало, что микропластики проникают в пищевые цепи, начиная с зоопланктона, что создает угрозу не только для морской биоты, но и для экосистем в целом [28]. Эти работы заложили основу для дальнейших научных исследований, нацеленных на более глубокое понимание источников, путей распространения и возможных экологических и социальных последствий накопления микропластиков.

В 2011 году Andrady предложил гипотезу о том, что пластиковые отходы, попадающие в океан, разрушаются под действием солнечных лучей, волн и механического воздействия, образуя микропластики, которые затем поступают в пищевые цепи [3]. В последующие годы исследования подтвердили, что микропластики могут поглощаться зоопланктоном, который является важным звеном пищевой цепи морских организмов, что вызывает серьёзные экологические и токсикологические опасения [10].

В 2012 году Lusher et al. подчеркнули, что морские организмы, такие как рыбы и моллюски, часто проглатывают микропластики, что может приводить к механическим повреждениям и биохимическим нарушениям в их организмах [32].

Исследования, направленные на изучение воздействия микропластиков на здоровье человека и экосистемы, также стали более активными. В частности, Rochman et al. (2013) установили, что микропластики способны аккумулировать токсичные вещества, такие как пестициды и тяжелые металлы, что может привести к их передаче в пищевые цепи [36]. Это открытие стало причиной серьёзных опасений относительно последствий для здоровья человека, так как такие токсичные вещества могут накапливаться в рыбе и морепродуктах, которые затем употребляются в пищу.

В Северной Америке исследования микропластиков охватывают разнообразные экосистемы, включая океаны, реки и Великие озёра. Так, Eriksen et al. (2013) обнаружили микропластики в водах Тихого и Атлантического океанов, показав, что загрязнение пластиком имеет широкий географический охват [14]. Carr et al. (2016) выявили, что очистные сооружения не способны полностью очищать сточные воды от микропластиков, что приводит к их попаданию в водные экосистемы [9].

Недавнее исследование Smith et al. (2018) указало на потенциальные риски для человека, поскольку морепродукты, содержащие микропластики, попадают в пищевую цепь, создавая угрозу для здоровья населения [41].

Недавно ученый Magaña-Olivé et al. (2025) в своих исследованиях сообщил о значительном содержании микропластика и тяжёлых металлов у домашних уток (*Anas platyrhynchos F. domesticus*) из района водохранилища Вальсекильо (Мексика), что свидетельствует об экзогенном загрязнении среды, а SEM-EDX-анализ подтвердил присутствие полиэтилена и полипропилена и индекс загрязнённости (PLI > 1) указывает на потенциально токсичное воздействие металла меди [34]. Микропластик был также выявлен как фактор, отрицательно влияющий на метаболическую активность биоплёнок, образующихся на полиэтилене высокой плотности (HDPE) и полипропилене (PP). Результаты экспериментов показали, что биоплёнки, развивающиеся на этих материалах, демонстрируют значительно более низкое разнообразие метаболической активности и ответов. Эти данные подчеркивают важность учета как точечных, так и неточечных источников микропластиков при формировании стратегий борьбы с их загрязнением, а также указывают на потенциально разрушительное воздействие пластиков на экосистемы водоемов [47].

ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОПЛАСТИКОВ В ЕВРОПЕ

В Европе исследования микропластиков сосредоточены на изучении их распространения и концентрации в морских экосистемах и пресноводных ресурсах. Van Cauwenberghe et al. (2015) выявили высокие концентрации микропластиков в Северном море и вдоль побережья Северной Европы, что стало весомым аргументом для экологической политики, направленной на снижение загрязнения морей [49].

Другое значительное исследование Eerkes-Medrano et al. (2015) анализировало концентрации микропластиков в пресноводных экосистемах, таких как реки и озёра, и выявило значительные уровни загрязнения в регионах с высокой плотностью населения [13].

В последние годы микропластик (МП) стал объектом интенсивных исследований в различных регионах Европы из-за его широкого распространения и потенциальной угрозы для экосистем и здоровья человека. В водных системах Германии были обнаружены высокие концентрации микропластика — до 11 050 частиц/л в реках и 9 000 частиц/м³ на очистных сооружениях, где преобладают волокна из полиэтилена (PE), полипропилена (PP) и полистирола (PS), которые поступают, главным образом, с бытовыми и промышленными стоками. Несмотря на серьёзность проблемы, в Германии всё ещё наблюдается дефицит научных публикаций по этой теме, что подчеркивает необходимость дальнейших исследований и разработки стандартов измерений [38].

В другом исследовании, проведённом в долине реки Бебжа — одном из крупнейших и экологически значимых болотных регионов Европы, было зафиксировано присутствие микропластика в 101 из 102 исследованных колодцев. Максимальная концентрация составила 14,1 частицы/л, в то время как средняя концентрация была $1,3 \pm 2,1$ частицы/л. Основными полимерами стали полиуретан и полиамид, что может свидетельствовать о загрязнении с сельскохозяйственным происхождением. Примечательно, что не было выявлено значимой связи между уровнем загрязнения и плотностью населения, что указывает на неравномерное распределение микропластика в грунтовых водах [44].

Экологическое состояние эстуарной системы Мондего в Португалии, пострадавшей от эвтрофикации в второй половине XX века, также стало объектом изучения. Комплексный анализ донных отложений показал значительное накопление микропластика и пестицидов в верхних слоях осадков (до 20 см), что создает дополнительные трудности для управления загрязнением и восстановления экосистем. Эти данные подчеркивают серьёзное антропогенное воздействие и необходимость адаптации методов экологического контроля в устьевых экосистемах [22].

Проблема микропластика касается не только водных, но и почвенных экосистем. В пилотном исследовании почвы садовых участков, предназначенных для выращивания овощей и фруктов, было обнаружено значительное количество микропластиков, включая PP, PE, PVC, PUR и синтетические смолы. Для их выявления использовались методы плотностной сепарации, стереомикроскопии и FTIR-спектроскопии. Источниками загрязнения стали как местная хозяйственная деятельность, так и атмосферный перенос. Эти данные подчеркивают недостаточную осведомленность о рисках микропластика в агропочвах и необходимость проведения мониторинга таких территорий, особенно учитывая их взаимодействие с пищевыми цепями.

ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОПЛАСТИКОВ В АФРИКЕ

На африканском континенте проблема микропластиков также получила внимание, однако масштаб исследований пока ограничен. Первое исследование, которое когда-либо зафиксировало присутствие и распределение микропластика в поверхностных водах Африки, было осуществлено в 1988 году. В рамках этого исследования были собраны образцы пластиковых частиц, находящихся на поверхности моря, в юго-западной области провинции Кейп, Южная Африка, в период с августа 1977 года по август 1978 года [37]. На данный момент в центральной части Африки не было проведено ни одного исследования, тогда как Южная Африка является единственной страной в южной части континента, которая представила полные данные о распределении и распространённости микропластиков в этом регионе. Наибольшая концентрация микропластиков в поверхностных водах была зарегистрирована в юго-восточных заливах Южной Африки и в озере Окс-Боу в Йеногоа, Нигерия, где показатели составили 1215 и 8369 частиц/м³

BIOLOGIYA

соответственно Эти две страны относятся к числу ведущих производителей неправильно утилизируемых пластиковых отходов на душу населения в Африке [24]. Поэтому неудивительно, что наибольшее скопление микропластиков на континенте было обнаружено именно в этих государствах.

Тем не менее, следует подчеркнуть, что уровень микропластиков, зафиксированный в Нигерии, был измерен в период дождей. Также было установлено, что микропластики в поверхностных водах встречаются чаще в дождливый сезон, чем в сухой. Например, в реке Нактонг в Южной Корее в дождливый сезон было зарегистрировано 15 560 частиц на кубический метр, тогда как в сухой сезон — лишь 1410 частиц на кубический метр [48]. Аналогичная тенденция в дождливый сезон была выявлена в параллельном исследовании, проведенном Вейдеманом и его коллегами в 2019 году на реке Оранж-Ваал в Южной Африке [51]. Кроме того, Надиоо и Глассом зафиксировали удвоение концентрации микропластиков в зимний период по сравнению с летним в морских водах у побережья Южной Африки [35].

СНГ : масштаб загрязнения и воздействия микропластиков

В странах СНГ также увеличивается беспокойство по поводу загрязнения водоемов микропластиком. Совсем недавно ряд исследований оценил масштабы загрязнения пресных вод, акцентируя внимание на его влиянии на водные организмы. В частности, Белесов и коллеги (2024) исследовали роль осадков в реке Северная Двина, которые способствуют попаданию микропластиков в Белое и Баренцево моря [6]. Эти исследования показали, что реки и их осадки играют важную роль в процессе загрязнения чувствительных экосистем, таких как арктические регионы.

Филимонова и соавторы (2024) представили обзор загрязнения микропластиками в пресных экосистемах России, исследовав их источники, распределение и влияние на окружающую среду. Результаты этого исследования подчеркивают важность усиленного мониторинга и разработки законодательных инициатив для управления проблемой загрязнения пластиком в водах России [15].

Озеро Байкал, являющееся одним из крупнейших пресных водоемов в мире, также стало объектом исследований по микропластикам. Зобков и Есюкова (2017) изучили наличие микропластиков в осадках Балтийского моря, выявив значительное загрязнение [54]. Исследования, проведенные на реках Сибири, например, на Енисее, показали присутствие микропластиков в пищеварительных трактах рыб, что свидетельствует о степени загрязнения даже удаленных водных экосистем.

Микропластики представляют собой один из самых стойких загрязнителей водных экосистем, оказывающий негативное воздействие на флору и фауну. В последние годы наблюдается активное увеличение исследований, посвященных распространению микропластиков в водных системах, особенно в реках Сибири. Работы, проведенные в бассейнах рек Томи, Обь и Енисей, внесли значительный вклад в изучение присутствия микропластиков в пресной воде и выявили их воздействие на экосистемы этих рек.

Следует особо отметить исследования, проведенные Франком и коллегами, которые показали, что микропластики присутствуют в поверхностных водах рек Сибири, даже в удаленных районах, что подчеркивает глобальный характер проблемы. Одним из первых важных результатов стало обнаружение микропластиков в желудках рыб в реке Томи в Западной Сибири в 2020 году [19]. Это исследование стало основой для последующих работ, которые были посвящены изучению концентраций микропластиков в поверхностных водах рек, таких как Обь и Томь. В частности, исследование Франк и др. (2021) показало концентрации микропластиков на уровне 0,5–1,5 микрограмма на литр в реке Томь, что указывает на значительное загрязнение этих водоемов [20]. Франк и коллеги выявили влияние микропластиков на водных организмов. Исследования, проведенные на сибирском голавле (*Coregonus peled*), показали, что микропластики могут нарушать работу пищеварительных и антиоксидантных ферментов, что влияет на здоровье рыб и их репродуктивные способности. Эти данные подчеркивают важность исследования загрязнения водных экосистем микропластиками и его последствий для живых организмов [16].

Кроме того, работы Франка также рассматривали пути распространения микропластиков в экосистемах. Одним из таких путей является поглощение микропластиков организмами различных трофических уровней, например, олигохетами, которые могут закапывать микропластики в донные осадки, влияя на распределение загрязняющих частиц в экосистемах [18].

Важным вкладом в понимание путей передачи микропластиков стало исследование комаров рода *Aedes aegypti*, у которых частицы пластика сохраняются на всех стадиях жизненного цикла, что позволяет им мигрировать в другие компоненты экосистем [39]. Эти результаты подтверждают гипотезу о биологическом переносе микропластиков на разные уровни биоты. Исследования также показали, что микропластики могут быть трансформированы в различные фракции, что способствует их распространению и поглощению живыми существами.

Кроме того, ученые разработали несколько технологий очистки водоемов от микропластиков, включая фильтрацию с использованием специализированных материалов и химические процессы, которые могут значительно снизить концентрацию микропластиков в водах рек [17].

ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЗИЯ И ПРОБЛЕМА МИКРОПЛАСТИКОВ

В Центральной Азии проблема микропластиков начинает привлекать внимание учёных, особенно с увеличением пластикового загрязнения рек и водоёмов. Но из-за нехватки внимания на этот отрасль проблемы, исследования по поводу микропластиков проведены очень мало и не дали существенного результата. С недавних пор на территории Узбекистана начались заметные работы, в частности начиная с 2023 году была создана программа по изучению микропластиковых частиц “Микропластик в окружающей среде” учеными Андижанского Государственного университета совместно с исследователями Томского Государственного университета.

Целью исследования заключалась в предварительном отборе микропластика (МП), их содержание в поверхности вод и донных отложениях рек Кара-Дарья и Чирчик, притоков реки Сырдарья (Узбекистан). Согласно Frank и др. Представленные данные являются первым экспериментальным свидетельством загрязнения притоков Сырдарьи [52]. Кроме того, в 2023 году под руководством профессора Алижана Хусанова и его учеников проводилось обширное исследование рек Узбекистана и в ходе него они разделены в зависимости от их расположения на 3 группы: реки Ферганской долины, р.Ташкент и Джиззах, р.Зеравшан протекающий через Навоийской и Самаркандской области. По данным было выявлено, что почти во всех вышеперечисленных реках имеется определенное количество микропластиков. Полученные данные являются первыми свидетельствами загрязнения пластиковыми частицами реки Зарафшан в Самаркандской и Навоийской областях, некоторых рек Ферганской долины, а также для рек Ташкента и Джиззахских областей на территории Узбекистана. Доказательством этому служит выпущенная в 2024 году статья «Microplastic pollution of the Zarafshan river tributary in Samarkand and Navoi regions of the Republic of Uzbekistan», где автор рассматривает вопрос распространения микропластиковых частиц в водных экосистемах притоков реки Зарафшан, протекающих на территории Самаркандской и Навоийской областей Республики Узбекистан. На основании анализа автор делает вывод о необходимости внедрения систематического мониторинга и разработки эффективных стратегий по снижению пластикового загрязнения для сохранения водных экосистем региона [25].

Важное направление дальнейших исследований в Узбекистане связано с влиянием микропластиков на сельскохозяйственные почвы и водные экосистемы. Социальные последствия также могут быть значительными, так как загрязнение микропластиками угрожает сельскому хозяйству, рыболовству и здоровью населения. В этом контексте необходимы более широкие исследования, направленные на оценку долгосрочных рисков для здоровья людей и окружающей среды, а также разработка стратегий по снижению выбросов микропластиков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обзор существующей литературы показывает, что проблема микропластиков имеет междисциплинарный характер и требует дальнейшего исследования. Несмотря на

BIOLOGIYA

значительные достижения в понимании источников, распространения и воздействия микропластиков на окружающую среду и живые организмы, остаются нерешенными вопросы о долгосрочных последствиях их накопления и возможных рисках для здоровья человека. Развитие методов обнаружения, а также совершенствование законодательной базы, направленной на сокращение использования пластмасс, являются важными шагами на пути к минимизации негативных последствий микропластиков. В Узбекистане проблема микропластиков требует дальнейшего изучения, особенно в контексте сельского хозяйства и водных ресурсов. Важно продолжать интеграцию международного опыта и разрабатывать стратегии, направленные на снижение загрязнения микропластиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alava, J. J., Jahnke, A., Bergmann, M., Aguirre-Martínez, G. V., Bendell, L., Calle, P., Domínguez, G. A., Faustman, E. M., Falman, J., Kazmiruk, T. N., Klasios, N., Maldonado, M. T., McMullen, K., Moreno-Báez, M., Öberg, G., Ota, Y., Price, D., Shim, W. J., Tirapé, A., . . . Weis, J. (2023). A call to include plastics in the global environment in the class of persistent, bioaccumulative, and toxic (PBT) pollutants. *Environmental Science & Technology*, 57(22), 8185–8188. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c02476>
2. Alberghini, L., Truant, A., Santonicola, S., Colavita, G., & Giaccone, V. (2022). Microplastics in fish and Fishery products and Risks for Human Health: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 789. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010789>
3. Andrady, Anthony L. (2011). "Microplastics in the Marine Environment". **Marine Pollution Bulletin**, 62(8), 1596-1605. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2011.05.030](<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>) pp. 1596-1605.
4. Bank, M. S., & Hansson, S. V. (2021). The microplastic Cycle: an introduction to a complex issue. In *Environmental contamination remediation and management* (pp. 1–16). https://doi.org/10.1007/978-3-030-78627-4_1
5. Barnes, David K. A., Fraser, K. P. P., и C. M. A. (2009). "Accumulation and Fragmentation of Plastic Debris in Global Environments". **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, 364(1526), 1985-1998. DOI: [10.1098/rstb.2008.0205](<https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>) pp. 1985-1998
6. Belesov, A.V., Rezviy, T.V., Pokryshkin, S.A., Chukhchin, D.G., Kozhevnikov, A.Y. (2024). New insights into the role of sediments in microplastic inputs from the Northern Dvina River (Russia) to the White and Barents Seas. *Marine Pollution Bulletin*, 202, 116310. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116310> .
7. Bhuyan, M. S. (2022b). Effects of microplastics on fish and in human health. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.827289>
8. Borrelle, S. B., Ringma, J., Law, K. L., Monahan, C. C., Lebreton, L., McGivern, A., Murphy, E., Jambeck, J., Leonard, G. H., Hilleary, M. A., Eriksen, M., Possingham, H. P., De Frond, H., Gerber, L. R., Polidoro, B., Tahir, A., Bernard, M., Mallos, N., Barnes, M., & Rochman, C. M. (2020). Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science*, 369(6510), 1515–1518. <https://doi.org/10.1126/science.aba3656>
9. Carr, Sarah A., Lattin, Greg L., and A. L. (2016). "Transport and Fate of Microplastic Particles in Wastewater Treatment Plants". **Water Research**, 91, 174-182. DOI: [10.1016/j.watres.2016.01.002](<https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.01.002>) pp. 174-182.
10. Cole, Matthew, Lindeque, Penelope, Halsband, Claudia, и G. A. (2011). "Microplastics as Contaminants in the Marine Environment: A Review". **Marine Pollution Bulletin**, 62(12), 2588-2597. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2011.09.025](<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>) pp. 2588-2597.
11. D'Avignon, G., Gregory-Eaves, I., & Ricciardi, A. (2021). Microplastics in lakes and rivers: an issue of emerging significance to limnology. *Environmental Reviews*, 30(2), 228–244. <https://doi.org/10.1139/er-2021-0048>
12. Doyle, D., Sundh, H., & Almroth, B. C. (2022). Microplastic exposure in aquatic invertebrates can cause significant negative effects compared to natural particles - A meta-analysis. *Environmental Pollution*, 315, 120434. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120434>
13. Eerkes-Medrano, Dafne, Thompson, R. C., и D. A. (2015). "Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs". **Water Research**, 139, 216-222. DOI: [10.1016/j.watres.2015.02.012](<https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.012>) pp. 216-222.
14. Eriksen, Mara, Lebreton, Laurent C. M., Carson, Heidi S., Thiel, Martin, и A. R. (2013). "Plastic Pollution in the South Pacific Subtropical Gyre". **Marine Pollution Bulletin**, 68(1-2), 71-76. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2012.12.021](<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.12.021>) pp. 71-76.
15. Filimonova, E.A., Preobrazhenskaya, A.E., Gutnikova, L.O. (2024). Microplastics in Russian freshwater systems: A review. *Russian Journal of Earth Sciences*, 24(3), 000907. <https://doi.org/10.2205/2024.000907> .
16. Frank Y. A., Interesova E. A., Solovyev M. M., Xu J., Vorobiev D. S. Effect of Microplastics on the Activity of Digestive and Oxidative-Stress-Related Enzymes in Peled Whitefish (*Coregonus peled* Gmelin) Larvae. *International Journal of Molecular Science*. 2023; 24(13): Article number 10998. DOI: [10.3390/ijms241310998](https://doi.org/10.3390/ijms241310998).
17. Frank Y. A., Vorobiev D. S., Kayler O. A., Vorobiev E. D., Kulnicheva K. S., Trifonov A. A., Soliman Hunter T. Evidence for Microplastics Contamination of the Remote Tributary of the Yenisei River, Siberia – The Pilot Study Results. *Water*. 2021; 13(22): Article number 3248. DOI: [10.3390/w13223248](https://doi.org/10.3390/w13223248).
18. Frank Y. A., Vorobiev D. S., Vorobiev E. D., Samarionova A. A., Antsiferov D. V., Strezov V. Ability of Benthic Oligochaetes to Bury Microplastics in Aquatic Bottom Sediments. *Science of the Total Environment*. 2023; 857(3): Article number 159687. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.159687](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159687).

19. Frank Y. A., Vorobiev E. D., Babkina I. B., Antsiferov D. V., Vorobiev D. S. Microplastics in fish gut, first records from the Tom River in West Siberia, Russia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. 2020; 52: 130–139. DOI: [10.17223/19988591/52/7](https://doi.org/10.17223/19988591/52/7).
20. Frank Y. A., Vorobiev E. D., Vorobiev D. S., Trifonov A. A., Antsiferov D. V., Soliman Hunter T., Wilson S. P., Strezov V. Preliminary Screening for Microplastic Concentrations in the Surface Water of the Ob and Tom Rivers in Siberia, Russia. *Sustainability*. 2021; 13(1): Article number 80. DOI: [10.3390/su13010080](https://doi.org/10.3390/su13010080).
21. Galafassi, S., Campanale, C., Massarelli, C., Uricchio, V. F., & Volta, P. (2021). Do Freshwater Fish Eat Microplastics? A Review with A Focus on Effects on Fish Health and Predictive Traits of MPs Ingestion. *Water*, 13(16), 2214. <https://doi.org/10.3390/w13162214>
22. Gardoki, J., Cearreta, A., Ortiz, J. E., López-Cilla, I., Gómez-Arozamena, J., Villasante-Marcos, V., Bessa, F., García-Artola, A., & Irabien, M. J. (2025). Assessing the environmental impacts of engineering and agrochemical pollution in a historically-eutrophic estuary: The Mondego case (W Portugal). *Marine Pollution Bulletin*, 214, 117782. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117782>
23. Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
24. Jambeck, J., Hardesty, B. D., Brooks, A. L., Friend, T., Teleki, K., Fabres, J., Beaudoin, Y., Bamba, A., Francis, J., Ribbink, A. J., Baleta, T., Bouwman, H., Knox, J., & Wilcox, C. (2017). Challenges and emerging solutions to the land-based plastic waste issue in Africa. *Marine Policy*, 96, 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.10.041>
25. Khusanov, A., Sabirov, O., Frank, Y., Vorobev, D., Vorobev, E., Rakhmatullina, S., Tashbaev, S., Mamatkarimova, S., Yakhyoyev, A., Juraev, M., Isakov, I., Karimjonov, D., Zokirov, I., & Abdullaev, I. (2025b). Microplastic pollution of the Zrafshan river tributary in Samarkand and Navoi regions of the Republic of Uzbekistan. *Green Analytical Chemistry*, 100200. <https://doi.org/10.1016/j.greeac.2024.100200>
26. Kim, J., Yu, Y., & Choi, J. (2021). Toxic effects on bioaccumulation, hematological parameters, oxidative stress, immune responses and neurotoxicity in fish exposed to microplastics: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 413, 125423. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125423>
27. Lambert, S., & Wagner, M. (2017). Microplastics are contaminants of emerging concern in freshwater environments: An Overview. In *The handbook of environmental chemistry* (pp. 1–23). https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5_1
28. Law, K. L., Morét-Ferguson, S., Maximenko, N. A., Proskurowski, G., Peacock, E. E., Hafner, J., & Reddy, C. M. (2010). Plastic accumulation in the North Atlantic subtropical gyre. *Science*, 329(5996), 1185–1188. <https://doi.org/10.1126/science.1192321>.
29. Li, C., Li, X., Bank, M. S., Dong, T., Fang, J. K., Leusch, F. D. L., Rillig, M. C., Wang, J., Wang, L., Xia, Y., Xu, E. G., Yang, Y., Zhang, C., Zhu, D., Liu, J., & Jin, L. (2024). The “Microplastome” – A Holistic Perspective to Capture the Real-World Ecology of Microplastics. *Environmental Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c08849>
30. Li, Y., Tao, L., Wang, Q., Wang, F., Li, G., & Song, M. (2023). Potential Health impact of Microplastics: A review of environmental distribution, human exposure, and toxic effects. *Environment & Health*, 1(4), 249–257. <https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00052>
31. Lim, K. P., Lim, P. E., Yusoff, S., Sun, C., Ding, J., & Loh, K. H. (2022). A Meta-Analysis of the characterisations of plastic ingested by fish globally. *Toxics*, 10(4), 186. <https://doi.org/10.3390/toxics10040186>
32. Lusher, A., McHugh, M., & Thompson, R. (2012). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution Bulletin*, 67(1–2), 94–99. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.11.028>
33. MacLeod, M., Arp, H. P. H., Tekman, M. B., & Jahnke, A. (2021). The global threat from plastic pollution. *Science*, 373(6550), 61–65. <https://doi.org/10.1126/science.abg5433>
34. Magaña-Olivé, P., Martínez-Tavera, E., Sujitha, S. B., Cunill-Flores, J. M., Martínez-Gallegos, S., Sierra, J., & Rovira, J. (2025). Evaluation of microplastics and metal accumulation in domestic ducks (*Anas platyrhynchos f. domestica*) of a contaminated reservoir in Central Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 213, 117639. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.117639>
35. Naidoo, T., & Glassom, D. (2019). Sea-surface microplastic concentrations along the coastal shelf of KwaZulu-Natal, South Africa. *Marine Pollution Bulletin*, 149, 110514. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110514>
36. Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T., & Teh, S. J. (2013). Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific Reports*, 3(1). <https://doi.org/10.1038/srep03263>.
37. Ryan, P. G. (1988). The characteristics and distribution of plastic particles at the sea-surface off the southwestern Cape Province, South Africa. *Marine Environmental Research*, 25(4), 249–273. [https://doi.org/10.1016/0141-1136\(88\)90015-3](https://doi.org/10.1016/0141-1136(88)90015-3)
38. Shrivastava, V., Silori, R., Verma, S., Nandan, A., Kumar, S., & Giri, B. S. (2024). Microplastic pollution in the German aquatic environment: Existence, interactions and research needs. *Environmental Engineering Research*, 30(4), 240609–0. <https://doi.org/10.4491/eer.2024.609>
39. Simakova A., Varenitsina A., Babkina I., Andreeva Y., Bagirov R., Yartsev V., Frank Y. 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): Article number 1852. DOI: [10.3390/w14121852](https://doi.org/10.3390/w14121852).
40. Skalska, K., Ockelford, A., Ebdon, J. E., & Cundy, A. B. (2020). Riverine microplastics: Behaviour, spatio-temporal variability, and recommendations for standardised sampling and monitoring. *Journal of Water Process Engineering*, 38, 101600. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101600>
41. Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., & Neff, R. A. (2018). Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current Environmental Health Reports*, 5(3), 375–386. <https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z>

BIOLOGIYA

42. Stokal, M., Vriend, P., Bak, M. P., Kroeze, C., Van Wijnen, J., & Van Emmerik, T. (2023). River export of macro- and microplastics to seas by sources worldwide. *Nature Communications*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-40501-9>
43. Talbot, R., & Chang, H. (2021). Microplastics in freshwater: A global review of factors affecting spatial and temporal variations. *Environmental Pollution*, 292, 118393. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118393>
44. Tarasewicz, K., Karpowicz, M., Deoniziak, K., Dubis, A. T., Więcko, A., & Jekatierynczuk-Rudczyk, E. (2025). A threat beneath the surface: Microplastic contamination in the groundwater of one of Europe's largest wetland complexes. *The Science of the Total Environment*, 976, 179329. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179329>
45. Thiele, C. J., Hudson, M. D., Russell, A. E., Saluveer, M., & Sidaoui-Haddad, G. (2021). Microplastics in fish and fishmeal: an emerging environmental challenge? *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81499-8>
46. Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Walters, A., Rowland, S. J. (2004). Lost at sea: Where is all the plastic? *Science*, 304(5672), 838. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2004.02.002 pp. 838.
47. Troost, J. L., Baker, S. M., Chaudry, M. H., & Judd, K. E. (2024). Point and nonpoint sources of microplastics to two Southeast Michigan rivers and reduced biofilm function on plastic substrata. *Aquatic Sciences*, 86(4). <https://doi.org/10.1007/s00027-024-01112-8>
48. Tsang, Y., Mak, C., Liebich, C., Lam, S., Sze, E. T., & Chan, K. (2016). Microplastic pollution in the marine waters and sediments of Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 115(1–2), 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.003>
49. Van Cauwenberghe, L., & Janssen, C. R. (2014). Microplastics in bivalves cultured for human consumption. *Environmental Pollution*, 193, 65–70. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.010>
50. Van Emmerik, T., & Schwarz, A. (2019). Plastic debris in rivers. *Wiley Interdisciplinary Reviews Water*, 7(1). <https://doi.org/10.1002/wat2.1398>
51. Weideman, E. A., Perold, V., & Ryan, P. G. (2019). Little evidence that dams in the Orange–Vaal River system trap floating microplastics or microfibres. *Marine Pollution Bulletin*, 149, 110664. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110664>
52. Yulia Frank, A. Khusanov, M.Yuldashov, E. Vorobiev, S.Rakhmatullina, A.Rednikin, Sh. Tashbaev, et al. 2023. "Microplastics in the Syr Darya River Tributaries, Uzbekistan." *Water* 2023, Vol. 15, 15(20): 3698. doi:10.3390/W15203698. Pp. 3698
53. Zhang, B., Chen, L., Chao, J. et al. Research Progress of Microplastics in Freshwater Sediments in China. *Environ Sci Pollut Res* 27, 31046–31060 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09473-x>
54. Zobkov, M., Esiukova, E. (2017). Microplastics in Baltic bottom sediments: Quantification procedures and first results. *Marine Pollution Bulletin*, 114(2), 724-732. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.07.001> .