

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ СБОРА И ОБРАБОТКИ ПРОБ МИКРОПЛАСТИКА В ПРЕСНЫХ ВОДОЕМАХ

Попова А.Ю., Блиновская Я.Ю.,

*ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток*

**Аннотация.** В работе представлен сравнительный анализ ведущих международных и национальных методических документов по мониторингу микропластика в пресноводных объектах. Обоснована и апробирована авторская адаптация протокола MICROPLASTREAM (основанная на стандартизированных протоколах проекта JPI Oceans BASEMAN) и руководство ITRC, для исследования поверхностных вод бассейна трансграничного озера Ханка. Методика включает применение каскадной фильтрации (100 и 10 мкм), этап подготовки проб с использованием жидкого азота для деструкции органики и последующую идентификацию состава частиц на ИК-Фурье спектрофотометре IRTracer-100 с приставкой НПВО. Сделан вывод, что использование криогенной обработки в сочетании с автоматизированным поиском по полимерным библиотекам позволяет существенно повысить достоверность данных по мелким фракциям микрочастиц, минимизируя риск получения ложноположительных результатов.

**Ключевые слова:** микропластик, микрочастицы, бассейн озера Ханка, методический подход, JPI Oceans MICROPLASTREAM Protocol.

## METHODOLOGICAL APPROACHES TO SAMPLING AND PROCESSING OF MICROPLASTICS IN FRESHWATER RESERVOIRS

Popova A.Yu., Blinovskaya Ya.Yu.,

*Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok*

**Annotation.** The paper presents a comparative analysis of leading international and national methodological documents for microplastic monitoring in the freshwater reservoirs. The author's adaptation of the ITRC and JPI Oceans (MICROPLASTREAM) protocols is substantiated and tested on surface water of the transboundary Lake Khanka basin. The procedure includes the use of a cascade filtration system (100 and 10  $\mu\text{m}$  fractions) and an innovative cryogenic preparation stage using liquid nitrogen to destroy organic matter and subsequent particle composition identification via FTIR - spectrophotometry IRTracer-100. It is concluded that the use of cryogenic processing with automated search through polymer libraries can significantly increase the reliability of data on small microparticles fractions, minimizing the risk of obtaining false-positive results.

**Keywords:** microplastics, microparticles, Lake Khanka basin, methodological approach, JPI Oceans MICROPLASTREAM Protocol.

**Введение.** Производство полимеров является важной составляющей мировой экономики. В настоящее время вся без исключения жизнедеятельность человека связана с использованием этой продукции, что связано с не только с их чрезвычайным разнообразием и физико-химическими свойствами, но и с относительно низкой стоимостью. Однако широкое использование этих материалов приводит к образованию большого количества отходов, обращение с которыми вызывает организационные и технические сложности. В результате, значительная их часть накапливается и попадает в окружающую среду, где под действием естественных природных процессов достаточно быстро трансформируется в мелкие частицы, получившие название «микропластик». Вместе с тем, пластики являются только лишь одним

из видов синтетических полимеров, хотя и весьма массовым. Помимо традиционных пластиков в составе загрязняющих компонентов небольшого размера идентифицируются частицы резины, лакокрасочных материалов, волокна и другие, что является основанием для расширения понятия «микропластик». Более целесообразно использовать термин «микроразмерное загрязнение». Но независимо от химической природы поллютантов этой категории проблема приобрела глобальный характер, поскольку частицы фиксируются практически во всех средах географической оболочки. Микрочастицы без преувеличения следует признать одним из опасных загрязнителей гидросферы, поскольку морская акватория и пресные водоемы являются конечными резервуарами, где скапливаются поллютанты, а они сами способны активно адсорбировать на своей поверхности иные загрязнители, в том числе токсические. Концентрация микроразмерного загрязнения напрямую зависит от антропогенной нагрузки, а качественный состав от источников загрязнения, что подчёркивает необходимость систематического мониторинга.

Так как микропластик представляет собой очень неоднородное множество частиц, которые различаются по размеру, форме, цвету, плотности, химическому составу и другим характеристикам, то главной проблемой широкомасштабного пространственного и временного сравнения на сегодняшний день является применение разнообразных подходов для отбора проб и подсчёта количества частиц. [2]. Особую актуальность представляет разработка, структурирование и гармонизация методических подходов к сбору и обработке проб, поскольку отсутствие стандартизированных протоколов приводит к несопоставимости данных и некорректной оценке загрязнения.

Одним из первых методических документов, предлагающих пошаговую методику анализа микропластика в морской среде, стало Национальное управление океанических и атмосферных исследований США (NOAA) (2015). Разработанный в 2015 году документ в настоящее время считается международным ориентиром для отбора проб микропластика в поверхностных морских водах и их пробоподготовки (окисление, сепарация и т.д.). Однако ориентация методики на визуальный подсчет частиц и выборку фракции >300 мкм сегодня считается недостаточно точным, что привело к появлению других подходов [1].

Для пресноводных водоёмов (реки, озёра, водохранилища) универсальной методики, подобной разработкам NOAA нет, но имеются протоколы рекомендательного характера, которые используются в научной практике как в России, так и за рубежом.

**Материалы и методы.** Методическая база, регулирующая требования к отбору проб микрочастиц и их последующий анализ, находится еще в стадии становления. Также следует отметить, что ни в России, ни в мире нет нормативов, определяющих допустимые концентрации этих поллютантов в окружающей среде. Однако, учитывая растущий интерес к теме микроразмерного загрязнения, необходимость получения объективных данных о качественном и количественном составе частиц, а также возможности проведения сравнительной оценки степени загрязнения разных регионов, сред и их отдельных компонентов, проведен анализ нормативно-технической документации, наиболее подходящей для проведения исследований содержания микрочастиц в гидросфере. Среди множества требований к организации пробоотбора были выделены следующие документы:

1) **ГОСТ Р 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб».** Это базовый национальный стандарт, введенный в действие с 01 января 2023 года, распространяется на любые типы вод и устанавливает общие требования к отбору, транспортировке и подготовке к хранению проб воды, предназначенных для определения показателей ее состава и свойств [3].

2) **ASTM D8332-20** – это один из первых специализированных международных стандартов, описывающих процедуру отбора проб воды с различным содержанием взвешенных частиц для идентификации и количественного определения микропластиковых частиц и волокон. Применим к питьевой воде, поверхностным водам, стокам, морю, но чаще

всего используется для пресноводных водоёмов с высоким содержанием органических веществ [4].

3) **ASTM D8333-20** – методические рекомендации, направленные на описание подготовки проб воды с различным содержанием взвешенных частиц для идентификации частиц с помощью рамановской спектроскопии, ИК-спектроскопии или пиролитической газообразной хромато-масс-спектрометрии. Стандарт предназначен для обработки проб, полученных с использованием стандарта ASTM D8332-20 [5].

4) **ITRC Microplastics Guidance** – это комплексное практическое руководство, устанавливающее методологическую базу для мониторинга микропластика в различных средах. Документ охватывает все аспекты от источников загрязнения до рисков для здоровья и экосистем [6].

5) **JPI Oceans MICROPLASTREAM Protocol** – это протокол, использующийся в рамках проекта JPI Oceans BASEMAN (Joint Programming Initiative Healthy and Productive Seas and Oceans – институционализируемая межправительственная платформа, определяющая стратегические приоритеты транснациональных исследований устойчивого здоровья и продуктивности морей и океанов) и представляющий собой специализированный регламент для мониторинга микропластика в морских экосистемах, но он также активно адаптируется и используется для пресноводных объектов (рек и озер) [7].

**Результаты и обсуждение.** Сравнительный анализ представленных методических подходов показывает высокую степень их сходимости: минимизация фонового загрязнения, эффективное удаление органической матрицы, спектроскопическая идентификация полимеров. Выбор конкретного протокола определяется не противоречием методов, а спецификой объекта исследования и доступностью ресурсов.

Сравнительная характеристика данных методических решений представлена в таблице 1

Таблица 1

Особенности основных методических подходов для проведения исследования микроразмерного загрязнения водной среды

№	Документ	Принцип отбора, оборудование и объём пробы	Обработка	Анализ (идентификация)	Особенности/преимущества
1	ГОСТ Р 59024-2020	Применяются батометры, бутылки, черпаки (для проб с глубины). Воду прокачивают с помощью помп, насосов, через нейстонные сети (для проб с поверхности). Обязательное использование стеклянных, металлических или полимерных ёмкостей без пластиковых крышек/уплотни	Первичная обработка на месте или в лаборатории: пробу охлаждают или консервируют при необходимости и затем фильтруют через сита/фильтры (50-333 мкм).	Идентификация не предусмотрена, но обеспечивается репрезентативность пробы и неизменность её состава в процессе отбора/хранения. Далее применяются методы визуальной сортировки с помощью микроскопа и спектроскопия (FTIR, Raman).	Универсальность (распространяется на все типы пресных вод). Гармонизация (соответствует и комбинируется с международными стандартами и протоколами. Минимизация контаминации (строгие требования к материалам и технике отбора). Простота и дешевизна (не требует дорогого

№	Документ	Принцип отбора, оборудование и объём пробы	Обработка	Анализ (идентификация)	Особенности/преимущества
		телей. Промывка оборудования той же водой перед отбором. Объём пробы для фильтрации/помпового отбора (10-500 л.) Для траления сетями Манга (2-20 м <sup>3</sup> ).			спецоборудования).
2	ASTM D8332-20 / (2020)	Прокачка больших объёмов воды через каскад сит (серия сит с уменьшающейся ячейкой, от крупных (от 5 мм) до мелких (до 1-45 мкм). Используется помпа или трубопровод для отвода потока. Для высоких взвесей (сточные воды) используется обязательная предварительная сепарация. Использование металлических или стеклянных материалов; промывка оборудования; фиксация проб алюминиевой фольгой. Рекомендуемый объём зависит от уровня взвесей, в среднем от 1500 до 5300 л.	Первичная обработка: содержимое сит смывают водой в контейнеры для полного извлечения. Пробу подготавливают для дальнейшей очистки при помощи окисления и/или дигестии.	Анализ не предусмотрен. Идентификация обеспечивается на основе ASTM D8333-20	Высокая репрезентативность (большие объёмы обеспечивают точные данные в низкоконцентрированных средах, таких как питьевая вода). Адаптируемость к взвесям и органике (подходит для пресных вод с высоким содержанием осадка, который засоряет нейстонные сети).

№	Документ	Принцип отбора, оборудование и объём пробы	Обработка	Анализ (идентификация)	Особенности/преимущества
3	ASTM D8333-20 / (2020)	Методика предполагает, что пробы отобраны в соответствии со стандартом ASTM D8332-20.		Целевые методы: Подготовка Raman-или ИК-спектроскопии (FTIR) или пиролиза GS-MS. Определение наличия, количества, тип полимера, его размер, форму, цвет.	Повышает точность анализа благодаря спектроскопическому оборудованию последнего поколения.
4	ITRC Microplastics Guidance / (2023)	1.Прямой отбор: погружение не пластикового контейнера с поверхности или глубины с использованием батометра или специализированной бутылки 2. Отбор + Фильтрация через сита. 3.Траление с помощью сетей (манта, нейстонной, бонго), закрепленных за лодкой или в потоке (15-60 мин.), автономные дроны для труднодоступных зон. 4.Прокачка через каскад сит (насос+расходомер). Рекомендуемый объём пробы - минимум 500 л. для низкоконцентри	1.Удаление органики при помощи дигестии, плотностной сепарации или криогенного измельчения. 2. Фильтрация через сита или вакуумные фильтры. 3. Охлаждение и хранение в герметичных контейнерах.	Визуальная сортировка (стереомикроскоп); FTIR, Raman, пиролиз GC/MS. Рекомендуется взять за основу стандарт ASTM D8333-20.	Гибкость и адаптивность (подходит для разных пресноводных водоёмов с высоким содержанием взвеси. Высокая репрезентативность. Строгие протоколы качества. Гармонизация с другими методиками.

№	Документ	Принцип отбора, оборудование и объём пробы	Обработка	Анализ (идентификация)	Особенности/преимущества
		рованных зон. При прямом отборе от 1 до 30 л., сетевом методе от 1 м <sup>3</sup> .			
5	JPI Oceans MICR OPLAS TREA M Protocol/(2021)	Использование насосных систем и каскадной фильтрации (проба пропускается через серию фильтров с разным размером пор (обычно 100 мкм и 20 мкм) для разделения частиц по фракциям. Также протокол содержит детальные инструкции по использованию сетей типа Манта и нейстонных для отбора проб воды методом траления. Протокол акцентирует внимание на использовании только стеклянного и металлического оборудования. Объем пробы зависит от метода отбора: насосом, достаточно 1 м <sup>3</sup> , тралением до 500 м <sup>3</sup> .	Первичная обработка проб включает в себя очистку образцов от органики методом химического окисления, ферментативного дигестажа, плотностной сепарации. Очищенную пробу фильтруют через аналитические фильтры (обычно диаметром 13, 25 или 47 мм).	Строгий запрет на визуальный подсчёт. Использование FTIR, Raman, пиролиз GC/MS.	Гармонизация методов; обязательное спектроскопическое подтверждение для точного результата; эффективность для мелких частиц: в отличие от многих стандартов, протокол детально описывает работу с фракцией мельче 100 мкм.

## Заключение

Проведенный обзор основных международных и национальных стандартов подтверждает общемировую тенденцию к установлению требований к отбору и идентификации микропластика.

Отмечается достаточно активная разработка методических подходов, при этом отмечается изменение детализации исследований. Так, если первый протокол NOAA (2015) для морских вод допускал только визуальный подсчет обнаруженных частиц микропластика, то в более поздних методиках устанавливается обязательная приборная идентификация состава частиц.

Это позволит не только определять природу микроразмерного загрязнения, устанавливать источники их поступления в водную среду, но и разрабатывать рекомендации по снижению негативного воздействия частиц на экосистемы разных рангов.

**Благодарность.** *Работа выполнена по теме НИР ФГБУН ТИГ ДВО РАН: Инерционность и динамика равноранговых территориальных акватерриториальных и трансграничных структур природопользования Тихоокеанской России, выявление детерминант и векторов их развития, стадий и вариантов трансформации в рамках моделей устойчивого природопользования в Северо-Восточной Азии.*

## Литература

1. Зобков, М. Б. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов // *Океанология*. – 2018. – Т. 58, № 1. – С. 149-157.
2. Чубаренко И.П. Микропластик в морской среде. — М.: Научный мир, 2021. — 520 с.
3. Электронный фонд актуальных правовых и нормативно-технических документов. ГОСТ Р 59024-2020 [Электронный ресурс]. - <https://docs.cntd.ru/document/1200175475> (дата обращения 09.02.2026).
4. ASTM D8332-20 Standard Practice for Collection of Water Samples with High, Medium, or Low Suspended Solids for Identification and Quantification of Microplastic Particles and Fibers [Электронный ресурс]. - <https://store.astm.org/d8332-20.html> (дата обращения 09.02.2026).
5. ASTM D8333-20 Standard Practice for Preparation of Water Samples with High, Medium, or Low Suspended Solids for Identification and Quantification of Microplastic Particles and Fibers Using Raman Spectroscopy, IR Spectroscopy, or Pyrolysis-GC/MS [Электронный ресурс]. - <https://store.astm.org/d8333-20.html> (дата обращения 09.02.2026).
6. Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC) [Электронный ресурс]. - <https://itrcweb.org/> (дата обращения 13.02.2026).
7. The Joint Programming Initiative Healthy and Productive Seas and Oceans (JPI Oceans) [Электронный ресурс]. - <https://www.jpi-oceans.eu/en> (дата обращения 09.02.2026).