

Методы обнаружения и идентификации микропластика в питьевой воде

Литературный обзор

Методы обнаружения и идентификации микропластика в питьевой воде

2026

Аннотация

Микропластик регулярно выявляется в источниках питьевой воды, водопроводной и бутилированной воде, однако сопоставление опубликованных оценок осложняется различиями в порогах размера, отборе проб, пробоподготовке, идентификации и контроле фонового загрязнения. Цель обзора — систематизировать аналитическую цепочку обнаружения микропластика и сопоставить функциональные группы методов по чувствительности, информативности и пригодности для мониторинга. Рассмотрены визуально-микроскопические, спектроскопические, термоаналитические, магнитные и комбинированные подходы, а также требования к качеству данных. Показано, что спектроскопические методы позволяют одновременно характеризовать полимер, число, размер и форму частиц, тогда как термоаналитические методы дополняют их массовой оценкой состава. Наиболее низкие пределы обнаружения достигаются специализированными рамановскими методами, но их практическая применимость требует дальнейшей валидации. Основным препятствием для межисследовательского сравнения остаётся не отсутствие отдельных аналитических решений, а неоднородность всей процедуры — от отбора пробы до представления результата. Перспективным направлением является воспроизводимый комбинированный мониторинг с едиными требованиями QA/QC, межметодной валидацией и отдельным контролем частиц малого размера и нанопластиков.

Ключевые слова: микропластик; питьевая вода; пробоподготовка; FTIR; Raman; Py-GC-MS; качество данных; нанопластик

1. Значение проблемы и границы обзора

Микропластик рассматривается как совокупность частиц различного происхождения, полимерного состава и физического состояния, а не как единичное химическое соединение. Его присутствие установлено в водных средах, что сформировало самостоятельное направление исследований пресных вод и водных ресурсов, используемых для питьевого водоснабжения [1]. Для питьевой воды эта проблема имеет двойной характер. С одной стороны, требуется установить факт загрязнения и его количественный уровень. С другой — необходимо понять, какие именно частицы обнаруживаются, насколько устойчив результат к особенностям аналитической процедуры и может ли он быть использован для оценки воздействия и управления рисками.

Обобщение исследований питьевой воды охватывает источники водоснабжения, очищенную водопроводную воду и бутилированную воду. Критические обзоры подчёркивают, что микропластик обнаруживался на разных этапах водного цикла, включая воду после очистки и воду в потребительской упаковке [2]. Сам факт обнаружения, однако, не является достаточным основанием для прямого сопоставления концентраций. Результат зависит от минимального размера анализируемых частиц, способа их концентрирования, удаления матричных компонентов, критерия химической идентификации и контроля загрязнения, внесённого во время лабораторной работы.

Практическая значимость аналитической задачи связана с тем, что недостаток сопоставимых данных ограничивает оценку потенциального воздействия микропластика через питьевую воду и разработку обоснованных мер управления [2]. Критический анализ качества опубликованных данных также показывает необходимость более надёжных оценок распространённости, поскольку без них невозможно отделить реальные различия между образцами от различий, создаваемых методикой [3].

Настоящий обзор организован вокруг аналитической цепочки «отбор проб — пробоподготовка — обнаружение — идентификация — количественная оценка». В центре внимания находятся методы, применяемые к питьевой, водопроводной и бутилированной воде, а также отдельные разработки, переносимые из анализа других водных матриц, если они проясняют возможности и ограничения пробоподготовки. Обзор не воспроизводит формальную стратегию систематического поиска; его задача состоит в аналитическом сопоставлении подходов и в выявлении условий, при которых результаты мониторинга могут быть интерпретированы совместно.

2. Ключевые понятия и аналитическая постановка задачи

Разграничение микро- и нанопластиков имеет непосредственное методическое значение. В рассмотренных работах нанопластики обозначаются как частицы менее 100 нм, тогда как микропластики занимают диапазон более 100 нм и менее 5 мм. Такое разделение не является только терминологическим: частицы разных размеров по-разному перемещаются в воде, удерживаются фильтрами, взаимодействуют с поверхностями и проявляются в спектроскопических или термоаналитических измерениях. Частицы менее 100 нм особенно трудно отделять и идентифицировать, поэтому сведения об их распространённости остаются ограниченными [4][5].

Микропластик следует описывать одновременно через размер, форму, плотность, полимерный состав и поверхностные свойства. Именно сочетание этих характеристик определяет, будет ли частица извлечена из пробы, сохранит ли она форму после обработки и сможет ли аналитическая система отличить её от природного или лабораторного материала. Разнообразие частиц и различия в измеренных концентрациях, которые могут достигать десяти порядков величины, превращают анализ микропластика в задачу характеристики комплекса загрязнителей, а не поиска одного вещества [6][7].

Порог размера определяет наблюдаемую часть загрязнения. Обзор 50 исследований пресных, питьевых и сточных вод показал, что в публикациях преобладали фрагменты и волокна, а среди выявленных полимеров примерно прослеживалась последовательность $PE \approx PP > PS > PVC > PET$ [3]. Это распределение нельзя автоматически трактовать как универсальное соотношение полимеров в воде: оно одновременно отражает реальные источники частиц и селективность отбора, фильтрации и идентификации.

Таблица 1. Характеристики частицы, влияющие на аналитический результат

Характеристика	Этап аналитической цепочки	Возможное смещение результата
Размер	Фильтрация, концентрирование, обнаружение	Недооценка частиц ниже порога метода
Форма и длина	Удержание фильтром, микроскопия, спектральное картирование	Различная вероятность извлечения фрагментов и волокон
Плотность	Разделение и осаждение	Потери частиц при разделении по плотности
Полимерный состав	Химическая идентификация и количественная оценка	Различная спектральная откликаемость и термическая стабильность
Поверхностные свойства	Сорбция, магнитная экстракция, взаимодействие с фильтром	Матрицезависимое восстановление частиц

Таким образом, аналитически сопоставимым должен быть не только конечный показатель «частиц на литр», но и описание того, какие частицы могли быть извлечены и распознаны. В систематическом обзоре исследований питьевой воды пороговый размер варьировал от 1 до 100 мкм и существенно влиял на оценённый уровень загрязнения; неоднородность протоколов не позволила провести метаанализ [8]. Это означает, что единицы измерения и границы размерного диапазона являются частью результата, а не второстепенными деталями его оформления.

3. Ландшафт исследовательских подходов

Современные подходы образуют несколько функциональных семейств. Визуальное обнаружение и микроскопия дают первичную информацию о числе, размере, цвете и форме частиц. Окрашивание и проточная цитометрия могут облегчать выделение частиц из сложного образца, но требуют осторожной интерпретации, поскольку визуальный признак ещё не подтверждает полимерную природу материала. Спектроскопические методы, включая FTIR и Raman, связывают морфологическое наблюдение с химической идентификацией. Термоаналитические методы, такие как пиролиз-ГХ-МС и TED-ГХ-МС, ориентированы прежде всего на химический и массовый состав. Такая классификация отражает не последовательность публикаций, а разные измерительные вопросы, которые задаются одной и той же пробе [9].

Визуально-микроскопическая группа сохраняет значение для высокопроизводительного первичного скрининга и описания морфологии. Её сильная сторона — возможность учитывать размер и форму отдельных частиц; ограничение состоит в том, что похожие на пластик объекты могут иметь природное происхождение. Поэтому визуальный результат становится более убедительным при последующей химической проверке. Спектроскопические методы дают более полную частичную характеристику: рекомендации для питьевой и другой чистой воды предусматривают определение типа полимера, количества, размера, распределения размеров и формы частиц [10].

Термоаналитические методы рассматривают пробу как совокупность полимеров и тем самым дополняют частицевые методы. Их преимущество особенно заметно тогда, когда требуется оценить массовый вклад полимеров, а не только перечислить отдельные частицы. Но потеря индивидуальной морфологической информации затрудняет прямое со-

поставление массовых и частицевых показателей. Поэтому химическая полнота не означает автоматической замены микроскопического или спектроскопического анализа.

Комбинированные рабочие процессы возникают именно из-за этой взаимодополняемости. В исследовании питьевой воды визуализационная μ FTIR-спектроскопия и Py-GC-MS оба метода успешно выявляли низкое содержание микропластика, но при низких концентрациях указывали на разные типы полимеров [11]. Следовательно, расхождение между методами может быть не признаком того, что один из них полностью ошибочен, а следствием различий между частицевой и массовой перспективами, чувствительностью и пределом идентификации.

Таблица 2. Функциональная таксономия методов обнаружения и идентификации микропластика

Семейство методов	Раскрываемые свойства	Сильные стороны	Основные ограничения
Микроскопия и визуальный скрининг	Число, размер, форма, цвет	Наблюдение отдельных частиц, сравнительно простая организация анализа	Ограниченная химическая специфичность
FTIR и Raman	Полимер, число, размер, форма и распределение частиц	Частицевой анализ с химической идентификацией	Зависимость от размера, матрицы, спектральных библиотек и настройки прибора
Пиролиз-ГХ-МС и TED-ГХ-МС	Химический и массовый состав полимеров	Оценка полимерной массы и состава смеси	Ограниченная информация об индивидуальной морфологии
Магнитная экстракция	Извлечение частиц из образца	Сокращение операций разделения и концентрирование	Зависимость эффективности от матрицы, размера и поверхности частиц
Комбинированный рабочий процесс	Морфология, полимер и массовый состав	Компенсация ограничений отдельных методов	Более высокие требования к валидации и согласованию результатов

Таблица 3. Сравнение использованных и цитируемых в обзоре статей по исследовательскому тренду, объекту и практическому смыслу

Тренд	Объект исследования	Практический смысл
Гармонизация и экономичная оценка аналитических методов — обзор Primpke и соавт. [9]	Визуальное обнаружение, микроскопия, окрашивание, проточная цитометрия, FTIR, Raman, пиролиз-ГХ-МС и TED-ГХ-МС; сопоставляются ограничения и пригодность для полевых исследований.	Выбор метода следует связывать с задачей мониторинга, требованиями контроля и аналитическими затратами, а не только с максимальной чувствительностью.
Переход к стандартизированным спектроскопическим протоколам — рекомендации Schymanski и соавт. [10]	Микро-Raman и микро-FTIR для питьевой, водопроводной, бутилированной и другой чистой воды с низким содержанием матричных компонентов.	Минимальные требования к подготовке проб, обнаружению и оценке результатов повышают надёжность и сопоставимость лабораторного мониторинга.
Интеграция частицевого и массового анализа — исследование Kirstein и соавт. [11]	Микропластик в системах распределения питьевой воды; визуализационная μ FTIR-спектроскопия и Py-GC-MS, включая частицы размером до 6,6 мкм.	Сочетание методов позволяет одновременно получать частицевую и массовую информацию, но расхождения при низких концентрациях требуют межметодной проверки.
Расширение размерного диапазона в субмикронную область — SERS на подложках Klarite [12]	Отдельные синтетические и экологические микро- и нанопластиковые частицы; обнаружение синтетических частиц до 360 нм и атмосферных частиц до 450 нм.	Метод открывает путь к исследованию малых частиц, но для рутинного контроля питьевой воды нужны матричная валидация, воспроизводимость и оценка полноты извлечения.
Развитие альтернативных способов концентрирования — магнитная экстракция Grbić и соавт. [13]	Микропластик разных типов полимеров в водных образцах; гидрофобные наночастицы железа связываются с поверхностью пластика и обеспечивают магнитное извлечение.	Подход может сократить операции разделения и повысить удобство концентрирования, однако эффективность необходимо проверять для конкретной матрицы и размерного диапазона.

Сдвиг к воспроизводимому мониторингу и контролю качества — критические обзоры Koelmans и соавт. [3] и Danopoulos и соавт. [8]	Исследования микропластика в питьевой, пресной и сточной воде с различающимися порогами размера и протоколами анализа.	Без единых размерных границ, процедур QA/QC и описания пробоподготовки показатели нельзя надёжно сопоставлять; стандартизация необходима для практического мониторинга.
---	--	---

Выбор метода для практического мониторинга поэтому определяется не максимальной чувствительностью как таковой, а соответствием аналитической цели. Для регулярного контроля важны также производительность, стоимость, доступность оборудования и воспроизводимость между лабораториями. Критическая оценка методов предлагает сочетать детальную характеристику с требованиями контроля, законодательства и административной практики, учитывая аналитические затраты [9].

4. Отбор проб, пробоподготовка и инструментальные методы

Надёжность определения начинается до инструментального измерения. Отбор пробы должен учитывать возможные пути фонового загрязнения и обеспечивать согласованность объёма, материала контактирующих поверхностей и условий хранения. Малый размер и повсеместное присутствие микропластика создают риск внесения посторонних волокон и фрагментов на каждом этапе работы. Поэтому рекомендации по QA/QC распространяются не только на прибор, но и на планирование отбора, сбор, транспортировку, обработку и интерпретацию образца [14].

После отбора пробу необходимо сконцентрировать и, если это требуется, удалить матричные компоненты. Для питьевой и чистой пресной воды рекомендации по микро-Raman и микро-FTIR прежде всего ориентированы на образцы с низким содержанием матричных веществ [10]. Это ограничивает прямой перенос соответствующих протоколов на более сложные матрицы и одновременно показывает, почему описание пробоподготовки должно включать характеристики образца, а не только название инструментального метода.

Удаление органического материала может осуществляться кислотными, щелочными или ферментативными процедурами. Исследования богатых биотой морских проб показали, что ферментативное переваривание облегчает последующее обнаружение и количественную оценку, а оптимизированный протокол удалял более 97% материала по массе без разрушения микропластикового мусора [15]. Эти результаты получены не для питьевой воды и потому не должны механически переноситься на неё; их методологическое значение состоит в демонстрации того, что очистка образца должна оцениваться вместе с сохранностью частиц.

Разделение по размеру и плотности традиционно используется для уменьшения количества постороннего материала. Однако мелкие частицы обладают низкой плавучестью и плохо поддаются пассивному разделению, особенно если требуется сохранить широкий размерный диапазон [4]. В качестве альтернативы предложено активное разделение с центрифугированием и методы, основанные на поверхностных взаимодействиях. Магнитная экстракция использует гидрофобные наночастицы железа, связывающиеся с поверхностью пластика и позволяющие извлекать частицы магнитным способом [13].

Эффективность магнитного подхода зависит от матрицы и размерного диапазона. Для частиц размером 200 мкм–1 мм сообщалась эффективность извлечения 84% из пресной воды и 78% из осадка для нескольких типов полимеров [13]. Эти значения характеризуют конкретные условия испытания и не задают универсальную эффективность метода. Они,

однако, показывают, почему валидация восстановления должна проводиться на разных полимерах, размерах и типах образца.

Спектроскопические методы занимают центральное место в анализе питьевой воды, поскольку объединяют химическую идентификацию с характеристикой отдельных частиц. В одном из рабочих процессов систематический подход с обеспечением качества позволил характеризовать микропластик размером до 6,6 мкм в системах распределения питьевой воды с использованием μ FTIR и Py-GC-MS [11]. В той же работе большинство обнаруженных частиц были меньше 150 мкм, а 32% — меньше 20 мкм; согласованность результатов μ FTIR и Py-GC-MS возростала при увеличении концентрации конкретного полимера [11].

Для субмикронного диапазона развиваются специализированные рамановские подходы. Поверхностно-усиленная Raman-спектроскопия с подложками Klarite обнаруживала синтетические частицы до 360 нм и атмосферные частицы окружающей среды до 450 нм [12]. Такой результат демонстрирует перспективность метода для расширения размерного диапазона, но сам по себе не подтверждает готовность технологии к рутинному мониторингу питьевой воды. Необходимы проверка матричных эффектов, воспроизводимости и количественной полноты извлечения.

Таблица 4. Сопоставление этапов аналитической цепочки и типов получаемой информации

Этап	Тип образца или операции	Получаемая информация	Ключевое ограничение
Отбор и концентрирование	Питьевая, водопроводная и бутилированная вода	Представительность пробы и суммарное извлечение частиц	Фоновое загрязнение и потери при переносе
Удаление матрицы	Фильтрация, переваривание, очистка	Снижение помех перед идентификацией	Возможное разрушение или потеря отдельных частиц
Разделение	Размер, плотность или магнитное взаимодействие	Фракционирование и концентрирование	Селективное извлечение по размеру, форме или полимеру
FTIR/Raman	Отдельные частицы и распределение частиц	Полимер, число, размер и форма	Предел размера и спектральные помехи
Py-GC-MS/TED-GC-MS	Суммарная фракция образца	Массовый и химический состав полимеров	Ограниченная морфологическая информация

5. Сопоставимость результатов, качество и основные дискуссии

В литературе достаточно последовательно подтверждается сам факт присутствия микропластика в питьевой воде, особенно когда учитываются исследования с низким риском систематической ошибки. Систематический обзор включал 12 исследований: шесть анализов водопроводной и шесть анализов бутилированной воды; все семь работ, оценённых как имеющие низкий риск систематической ошибки, подтвердили загрязнение питьевой воды [8]. Это поддерживает вывод о реальности явления, но не устраняет расхождения в его количественной оценке.

Различия между водопроводной и бутилированной водой прослеживаются на уровне зарегистрированных диапазонов, но не должны интерпретироваться вне методического контекста. В систематическом обзоре максимальные значения достигали 628 частиц/л для водопроводной воды и 4 889 частиц/л для бутилированной воды; наиболее высокие показатели были получены для европейских образцов, а полиэтилентерефталат и полипропилен относились к наиболее часто выявляемым полимерам [8]. В другом исследовании микропластик был обнаружен в 93% из 259 образцов бутилированной воды, приобретенных в девяти странах, при среднем содержании 325 частиц/л для частиц размером 6,5–100 мкм [16]. Эти показатели относятся к разным протоколам и размерным диапазонам, поэтому они описывают не единую глобальную концентрацию, а наблюдаемые результаты конкретных схем анализа.

Морфологический состав также зависит от чувствительности процедуры. В водопроводной воде в одном международном исследовании антропогенные частицы были обнаружены в 81% образцов; средняя концентрация составляла 5,45 частицы/л при диапазоне от 0 до 61 частицы/л, а 98,3% частиц представляли собой волокна длиной 0,1–5 мм [17]. Напротив, критический обзор 50 исследований указывает на частое сообщение как волокон, так и фрагментов, с иным распределением полимеров [3]. Расхождение может отражать не только географию и свойства воды, но и различия в контроле волоконного загрязнения, пороге размера и критериях подтверждения полимерной природы.

Основная дискуссия касается того, компенсируют ли комбинированные методы ограничения отдельных подходов. Их сочетание действительно расширяет описание: спектроскопия сохраняет информацию об отдельных частицах, а термоаналитический анализ даёт независимую массовую перспективу. Но комбинирование не устраняет автоматически ошибки отбора и пробоподготовки. Если частицы были потеряны до инструментального измерения или образец загрязнён внешними волокнами, два метода могут согласованно воспроизводить уже искажённый результат. Поэтому комбинация методов должна сопровождаться независимой проверкой восстановления и холостыми пробами, а не рассматриваться как замена QA/QC.

Качество опубликованных исследований остаётся неоднородным. В критическом обзоре только четыре из 50 работ соответствовали всем предложенным критериям качества, включавшим полноту описания отбора и обработки проб, контроля качества, идентификации и представления результатов [3][18]. Другой анализ показывает, что различия в процедурах контроля и обеспечения качества приводят к расхождениям не только в концентрациях, но и в сообщаемых размерах, цвете, форме и составе частиц [18]. Следовательно, воспроизводимость требует гармонизации всей процедуры, а не выбора одного предпочтительного прибора.

Практическим ответом на эту проблему являются минимальные требования к описанию и выполнению анализа. Консенсусный обзор 12 европейских лабораторий и учреждений сформулировал рекомендации по оптимальной практике микроамановской и микроинфракрасной спектроскопии [10]. В более широком плане руководства по отбору проб и QA/QC предлагают учитывать источники загрязнения от постановки вопроса и планирования отбора до обработки образца, а также сочетать общие и матрицеспецифичные меры контроля [14]. Именно такая интеграция позволяет трактовать различия между водопроводной и бутилированной водой как научный результат, а не как простое следствие несовместимых процедур.

6. Ограничения, пробелы и направления развития

Первое ограничение связано с селективностью извлечения. Методы по-разному работают с частицами различного размера, формы и полимерного состава; это создаёт риск систематического смещения измерений [7]. Даже метод, демонстрирующий высокую эффективность для одного диапазона размеров или матрицы, не может автоматически счи-

таться равноэффективным для волокон, фрагментов, частиц низкой плотности и деградировавших поверхностей. Поэтому валидация должна включать несколько типов полимеров, размерных фракций и образцов, а результат должен сопровождаться указанием нижнего предела обнаружения.

Второе ограничение — слабая сопоставимость протоколов. В исследованиях питьевой воды порог анализируемого размера варьировал от 1 до 100 мкм, и это существенно меняло оценку загрязнения [8]. При отсутствии единого определения размерного диапазона показатели «частиц на литр» могут относиться к разным совокупностям объектов. Сопоставление требует как минимум единообразного сообщения объёма пробы, размера фильтра или порога регистрации, морфологического критерия, списка идентифицированных полимеров, процедур холостого контроля и доли восстановленных частиц.

Третья область неопределённости — нанопластики и частицы малого размера. Надёжное обнаружение нанопластиков остаётся самостоятельной аналитической задачей [9][6]. Специализированная поверхностно-усиленная Raman-спектроскопия показала возможность обнаружения отдельных частиц субмикронного диапазона [12], однако перспективный предел обнаружения не равен доказанной полноте мониторинга в реальной питьевой воде. Для перехода к рутинному применению необходимы межлабораторные испытания, матричная валидация и стандартизированное представление неопределённости.

Четвёртый пробел относится к связи между обнаружением и оценкой риска. Микропластик выявляется в очищенной водопроводной и бутилированной воде, но существующие пробелы в данных затрудняют оценку потенциального воздействия на здоровье человека и разработку мер управления [2]. Для частиц менее 150 мкм дополнительно требуются данные о распространённости, переработке, токсикокинетике и воздействии на желудочно-кишечный тракт [19]. Это означает, что расширение аналитической чувствительности должно сопровождаться экологически реалистичной интерпретацией экспозиции, а не только увеличением числа обнаруженных частиц.

Наиболее обоснованный путь развития состоит в создании воспроизводимого комбинированного мониторинга. Он должен включать гармонизированный отбор проб, предотвращение и проверку фонового загрязнения, документированную пробоподготовку, контроль восстановления, химическое подтверждение частиц и сопоставление частицевых и массовых показателей. Для оценки воздействия особенно важны предотвращение фонового загрязнения и повышение экологической реалистичности условий экспозиции [20]. Такой подход позволит разделить три уровня вывода: наличие загрязнения, его аналитически измеряемую структуру и значение этой структуры для оценки риска.

Таким образом, основной исследовательский пробел заключается не в отсутствии отдельных методов, а в отсутствии достаточно согласованной цепочки, позволяющей воспроизводимо сопоставлять результаты между лабораториями, типами воды и размерными диапазонами. Стандартизация QA/QC, межметодная валидация и расширение данных о частицах малого размера должны рассматриваться как взаимосвязанные условия мониторинга, пригодного для управления качеством питьевой воды.

Заключение

Исследования согласованно указывают на присутствие микропластика в питьевой, водопроводной и бутилированной воде, однако количественные оценки и описание состава частиц существенно зависят от аналитического протокола. Наиболее устойчивым является вывод о необходимости рассматривать микропластик как разнообразный комплекс частиц, для которого размер, форма, плотность и полимерный состав определяют вероятность извлечения и идентификации.

Визуальные методы полезны для первичной морфологической характеристики, FTIR и Raman обеспечивают химически подтверждённый анализ отдельных частиц, а термоана-

литические методы дополняют его массовой оценкой полимеров. Комбинированные рабочие процессы обладают наибольшим потенциалом, но только при условии контроля фонового загрязнения, проверки восстановления и ясного описания размерного диапазона. Частицы менее 100 мкм и нанопластики остаются наиболее сложной частью аналитической задачи.

Для дальнейшего развития необходимы согласованные процедуры отбора и пробоподготовки, единые требования QA/QC, межлабораторная валидация и стандартизированное представление результатов. Именно эти меры могут превратить разрозненные обнаружения в воспроизводимую систему мониторинга, пригодную для оценки воздействия и управления рисками.

Список литературы

1. Wagner M., Lambert S. Freshwater Microplastics. The Handbook of Environmental Chemistry, 2017. SCID: 54.1/se66x9np.
2. Marsden P., Koelmans B., Bourdon-Lacombe J. Microplastics in drinking-water. Socio-Environmental Systems Modeling, 2019. SCID: 54.1/e96kktqj.
3. Koelmans A. A., Mohamed Nor N. H., Hermesen E., Kooi M., Mintenig S. M., De France J. Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. Water Research, 2019. SCID: 54.1/ptcmj4hf.
4. Nguyen B., Claveau-Mallet D., Hernandez L. M., Xu E. G., Farner J. M., Tufenkji N. Separation and Analysis of Microplastics and Nanoplastics in Complex Environmental Samples. Accounts of Chemical Research, 2019. SCID: 54.1/c9wvznmk.
5. Alimi O. S., Farner J. M., Hernandez L. M., Tufenkji N. Microplastics and Nanoplastics in Aquatic Environments: Aggregation, Deposition, and Enhanced Contaminant Transport. Environmental Science & Technology, 2017. SCID: 54.1/htndez8t.
6. Ivleva N. P. Chemical Analysis of Microplastics and Nanoplastics: Challenges, Advanced Methods, and Perspectives. Chemical Reviews, 2021. SCID: 54.1/nqxmzkc9.
7. Rochman C. M., Brookson C. B., Bikker J., et al. Rethinking microplastics as a diverse contaminant suite. Environmental Toxicology and Chemistry, 2019. SCID: 54.1/yz9vmnde.
8. Danopoulos E., Twiddy M., Rotchell J. M. Microplastic contamination of drinking water: A systematic review. PLoS ONE, 2020. SCID: 54.1/xn5uegev.
9. Pimpke S., Christiansen S., Cowger W., et al. Critical Assessment of Analytical Methods for the Harmonized and Cost-Efficient Analysis of Microplastics. Applied Spectroscopy, 2020. SCID: 54.1/ajf39e4z.
10. Schymanski D., Oßmann B. E., Benismail N., et al. Analysis of microplastics in drinking water and other clean water samples with micro-Raman and micro-infrared spectroscopy: minimum requirements and best practice guidelines. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2021. SCID: 54.1/fu39trvw.
11. Kirstein I. V., Hensel F., Gomiero A., et al. Drinking plastics? - Quantification and qualification of microplastics in drinking water distribution systems by μ FTIR and Py-GCMS. Water Research, 2020. SCID: 54.1/36kueum8.
12. Xu G., Cheng H., Jones R. R., et al. Surface-Enhanced Raman Spectroscopy Facilitates the Detection of Microplastics <1 μ m in the Environment. Environmental Science & Technology, 2020. SCID: 54.1/bu6hjqkm.
13. Grbić J., Nguyen B., Guo E., et al. Magnetic Extraction of Microplastics from Environmental Samples. Environmental Science & Technology Letters, 2019. SCID: 54.1/cthf8za.
14. Brander S. M., Renick V. C., Foley M. M., et al. Sampling and Quality Assurance and Quality Control: A Guide for Scientists Investigating the Occurrence of Microplastics Across Matrices. Applied Spectroscopy, 2020. SCID: 54.1/vhuaawd4.
15. Cole M., Webb H., Lindeque P. K., et al. Isolation of microplastics in biota-rich seawater

- samples and marine organisms. *Scientific Reports*, 2014. SCID: 54.1/56c53nvx.
16. Mason S. A., Welch V. G., Neratko J. Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water. *Frontiers in Chemistry*, 2018. SCID: 54.1/ug829fek.
 17. Kosuth M., Mason S. A., Wattenberg E. V. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLoS ONE*, 2018. SCID: 54.1/uyw3vsg7.
 18. Elkhatib D., Oyanedel-Craver V. A Critical Review of Extraction and Identification Methods of Microplastics in Wastewater and Drinking Water. *Environmental Science & Technology*, 2020. SCID: 54.1/6w8xgbuv.
 19. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Presence of microplastics and nanoplastics in food, with particular focus on seafood. *EFSA Journal*, 2016. SCID: 54.1/vzyxyu24.
 20. de Ruijter V. N., Redondo-Hasselerharm P. E., Gouin T., Koelmans A. A. Quality Criteria for Microplastic Effect Studies in the Context of Risk Assessment: A Critical Review. *Environmental Science & Technology*, 2020. SCID: 54.1/q62f2y2x.