ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ. МИКРОПЛАСТИК

УДК 504.064.3
ВАК 1.4.2

Липеева А.В., к.х.н., ООО "ЛабПро Медиа", mond_05@list.ru

Один из глобальных векторов развития современной человеческой цивилизации –экологическая безопасность, и в том числе предотвращение и минимизация антропогенного воздействия на окружающую среду. Впервые об экологии заговорили на Конференции ООН по проблемам окружающей среды в 1972 году. С тех пор внимание к теме только растет. И это не случайно, поскольку защищенность окружающей среды и человека от негативного воздействия антропогенных факторов играет ключевую роль в устойчивом развитии общества и предотвращении экологических катастроф.

В 2025 году в России прошли крупные конгрессные мероприятия, посвященные поискам решений глобальных экологических проблем – конференция "Экоаналитика", XVI Международный форум "Экология", бизнес-форум Recycling Solutions. Вопросы противодействия растущему загрязнению окружающей среды различными объектами, способы их анализа и пути снижения негативного воздействия на экосистемы обсуждались в рамках деловой программы выставки "Аналитика Экспо 2025", на конференции "Пиролитическая хроматография" и других мероприятиях.

Мы подготовили цикл обзоров, посвященных актуальным экологическим проблемам, их анализу с научной и общественно-политической точек зрения. Первый материал посвящен наиболее противоречивому и дискуссионному объекту – микропластику.

Пластики – разновидность синтетических или полусинтетических полимерных материалов, среди которых наиболее распространенными – около 81,2% мирового спроса в 2019 году – являются полипропилен (ПП), полистирол (ПС), полиэтилентерефталат (ПЭТ), поливинилхлорид (ПВХ), полиэтилен (ПЭ) и полиуретан (ПУР) [1–3]. Помимо базовых полимеров, такие материалы часто содержат добавки и пластификаторы.

Багодаря широчайшей сфере применения за последнее столетие пластик стал неотъемлемой частью повседневной жизни: ежегодно в мире производится более 400 миллионов тонн различных полимеров. Высокие уровни производства и отсутствие эффективных методов утилизации привели к значительному выбросу пластика в окружающую среду – большая часть пластика оказывается на свалках или сбрасывается прямо в водные пути. Воздействие на пластиковый мусор окружающей среды (например, ультрафиолетового света и физического напряжения через истирание) приводит к тому, что пластиковые отходы распадаются на микро (<5 мм) и наноразмерные (<0,1 мкм) пластиковые частицы, которые подолгу сохраняются в окружающей среде и могут накапливаться в пищевой цепи, попадая в организм человека [4]. В настоящее время МП рассматривают как глобальный антропогенный загрязнитель, распространенный по всей биосфере Земли. Помимо присутствия в водных средах – около 70% морского мусора составляют пластиковые отходы, МП обнаруживают в атмосфере, почве, растительных и животных объектах.

Считается также, что из-за небольших размеров частиц МП может более активно связываться с загрязняющими агентами – тяжелыми металлами, органическими веществами, микроорганизмами, способствовать их эффективному распространению в биосфере, приводя тем самым к еще более масштабным загрязнениям [5].

ИСТОРИЯ ПРОБЛЕМЫ

О растущем загрязнении пластиками упоминалось с 1931 года, а с 1950-х годов из-за плохой утилизации отходов заговорили о глобальном загрязнении. В 1960-1970-х годах разработка методов борьбы с пластиковым загрязнением стала одной из актуальных задач экологов. Однако первую попытку научного изучения пластиковых отходов сделал Эдвард Карпентер только в 1972 году. Он впервые выделил крошечные пластиковые частицы в океане и попытался сделать их описание по форме, цвету и размерам [6] (рис.1.).

Частицы пластика, собранные Карпентером, представляли собой твердые белые цилиндрические гранулы диаметром около 0,25–0,5 см с закругленными концами. Многие куски были хрупкими и рассыпались при

DOI: 10.32757/2619-0923.2025.4.33.64.82

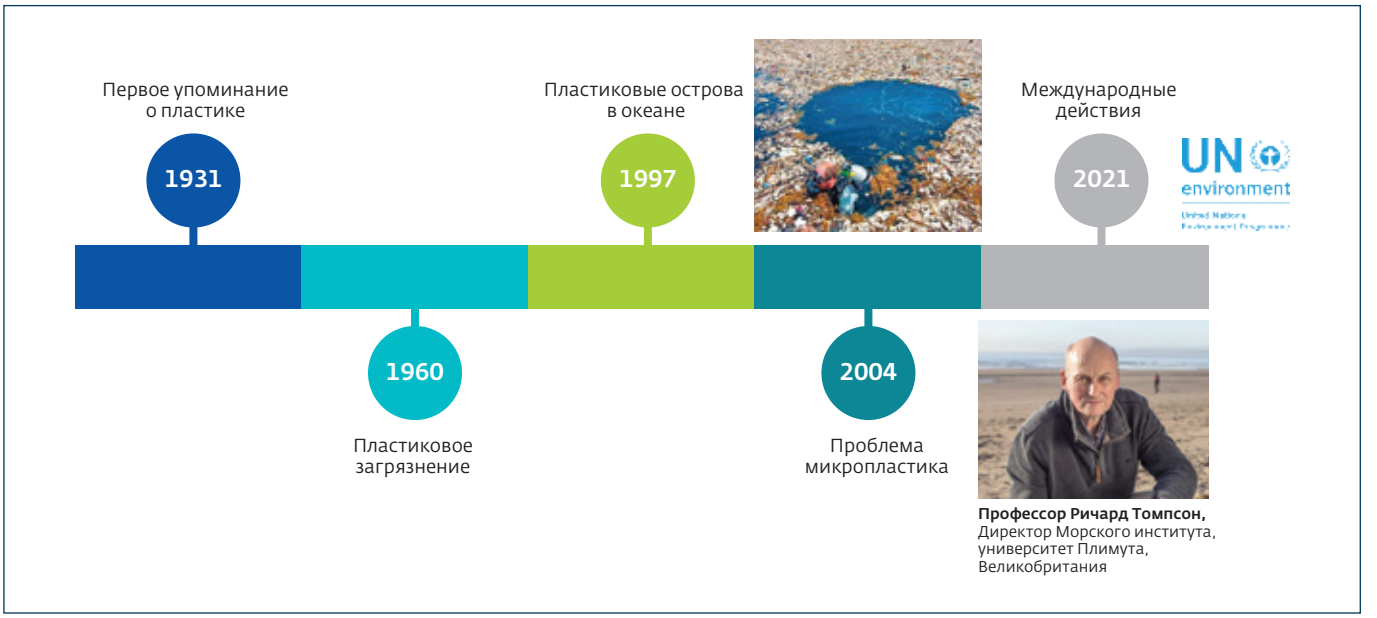


Рис.1. *Временная шкала истории пластика*

контакте, некоторые имели окраску. Э.Карпентер впервые отметил, что большинство пластиков имели популяции гидроидов и диатомовых водорослей, прикрепленных к их поверхностям. Были идентифицированы гидроиды Clytia cylindrica и Gonothyraea hyalina и диатомовые водоросли Mastogloia angulata, M. pusilla, M. hulburti, Cyclotella meneghiniana и Pleurosigma sp.

Но термин "микропластик" был введен профессором Ричардом Томпсоном (Великобритания) только в 2004 году [7]. В своей работе "Затерянные в море: где весь пластик?" он впервые выделил микроскопические пластиковые фрагменты и волокна, которые образуются в результате деградации крупных предметов, и отметил их накопление в пелагической зоне и осадочных местообитаниях. Для количественной оценки распространенности МП был проанализирован осадок с пляжей, менее плотные частицы были отделены флотацией, а МП идентифицировали с помощью инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (ИК-Фурье) (рис.2). Было идентифицировано девять полимеров: полиакрилаты, алкидные смолы, полиэтилен, полипропилен, полиамид (нейлон), полиэстер, полиэтилен, полиметилакрилат, полипропилен и поливиниловый спирт. Уже тогда Р.Томпсон отметил неблагоприятный прогноз экспоненциального роста пластикового загрязнения и предположил, что МП может адсорбировать, выделять и переносить различные химические соединения, а также поглощаться морскими организмами, но последствия попадания в пищевые цепи на тот момент не исследовались.

ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

Увеличение количества пластиковых отходов по всему миру и соответствующий новый термин вызвали широкий общественный резонанс. Первые попытки законодательного регулирования в области МП были предприняты в США в 2015 году. Сначала это был ряд ограничений на применение пластика в различных штатах, а затем был принят федеральный закон "О воде, свободной от микрогранул " H.R. 1321 (114th): Microbead Free Waters Act of 2015. С июля 2017 года он запрещал применение пластиковых микрогранул при производстве смываемых средств персонального ухода (эксфолианты и абразивы в смываемой косметике, зубной пасте), а розничная продажа продуктов, произведенных с использованием таких гранул, запрещалась с июля 2018 года.

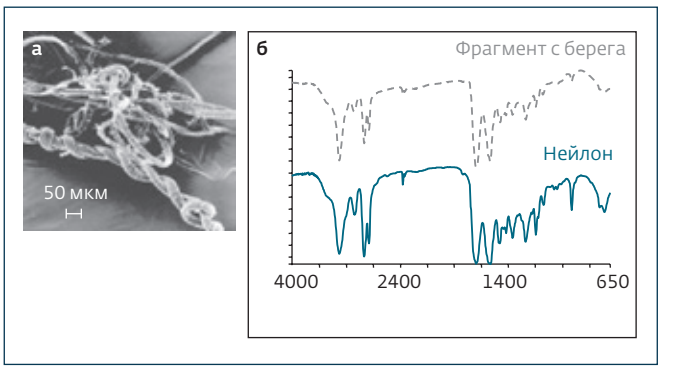


Рис.2. *а – общий вид частиц микропластика, обнаруженных Томпсоном; б - ИК-Фурье-спектры микроскопического фрагмента совпали со спектрами нейлона*

Первый верхнеуровневый общеевропейский документ, A European Plastics Strategy – Европейская стратегия по пластикам, описывающий практически весь спектр вопросов, касающихся полимеров – от экономики, экологии и здоровья человека до инноваций и инвестиций, датируется январем 2018 года. Документ фокусировался в основном на разработке методов снижения негативного эффекта от загрязнения окружающей среды пластиковыми отходами и развитие индустрии переработки полимерных отходов в ЕС. Авторы отдельно отметили отсутствие исчерпывающей доказательной базы по большому спектру вопросов МП и констатировали необходимость соответствующих междисциплинарных исследований для принятия конкретных решений, никаких мер, готовых к внедрению, стратегия не содержала.

Похожие меры законодательного регулирования существуют и в других странах, в 2018-2020 годы в Великобритании, Канаде, Франции, Южной Корее были приняты аналогичные законы о запрете производства и продаж различной продукции, при производстве которой использовались МП.

Говоря о законодательстве Российской Федерации, можно отметить Федеральный закон от 24 июня 1998 года № 89-ФЗ "Об отходах производства и потребления", в котором установлен запрет на размещение отходов в объектах, не внесенных в государственный реестр. Закон применяется к тем лицам, которые либо передают, либо принимают на размещение отходы на "нелегальных" мусорных полигонах. Однако данные меры действуют только в отношении нарушителей, которые осуществляют деятельность по обращению с отходами на профессиональной основе, и неприменим к физическим лицам, выбрасывающим отходы, образующиеся в результате их деятельности.

Постановление Правительства РФ от 18 февраля 2022 года № 207 "О внесении изменений в перечень научных исследований и опытно-конструкторских разработок" в пункте 7 раздела 9 упоминает разработку технологий производства биоразлагаемых материалов и продукции из них, исключая формирование микропластика. Данный пункт направлен на создание систем улучшения состояния окружающей среды и повышения энергосбережения и эффективности использования природных ресурсов, однако он носит рекомендательный характер и включает очень размытое описание предмета регулирования.

Наиболее конкретная информация по МП содержится в законопроекте № 154856–8 "О внесении изменений в статью 6 Федерального закона "Об охране озера Байкал", целью которого является снижение загрязнения озера Байкал и прилегающих территорий пластиком и МП путем регулирования отношений по обращению "одноразовых" товаров из различных видов пластмассовых материалов. Но данный закон является локальным, направленным исключительно на снижение загрязнения только поверхностных вод озера Байкал.

В 2020-2021 годы Правительством РФ отмечалась необходимость снижения объема отходов, поступающих на полигоны, внедрения раздельного сбора мусора и перехода на экономику замкнутого цикла. Однако единая стратегия борьбы с МП-загрязнением, которая была бы принята на федеральном законодательном уровне и применялась повсеместно, до сих пор не разработана. Главной причиной этого является отсутствие однозначного определения, что же считать МП. Вследствие этого нет единой устоявшейся классификации МП. Кроме того, разработать методы контроля столь неопределенного объекта не представляется возможным ни за рубежом, ни в России.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ

На сегодняшний день МП принято называть небольшие пластиковые частицы (диаметром <5 мм), возникающие из-за деградации пластиковых изделий, износа автомобильных шин, стирки одежды, выветривания лакокрасочных покрытий и утечки предпроизводственных гранул и порошков и др. МП могут далее распадаться на субмикропластики (1 мкм–100 нм) и нанопластики (НП диаметр <100 нм). Однако в последнее время термин НП из некоторых классификаций исключают в связи с отсутствием аналитических методов для определения его точного количественного содержания. По этой же причине до сих пор нет убедительных данных о существовании субмикропластика. Границы размеров МП выбираются произвольно или исходя из диаметра доступных фильтров и возможностей используемого метода анализа, НП и субмикропластики практически полностью пропускаются по причине отсутствия фильтров соответствующих диаметров, и сделать какие-либо выводы об их содержании невозможно.

По источнику возникновения МП условно делят на первичный МП – частицы, изначально произведенные в микроразмерах, и вторичный МП, образовавшийся из полимерных отходов посредством биодеградации и абиотических процессов.

Второй глобальной проблемой является отсутствие классификации МП по химическому строению вследствие огромного разнообразия пластиковых материалов, из которых они образуются. Обычно выделяют 6 основных полимеров: ПЭ, ПП, ПВХ и ПС, которые представляют собой полимерные углеродные цепи с различными заместителями (табл.1).

Каждый вид пластика имеет свою классификацию. Например, ПЭ, который считается самым распространен-

pharmtech & ingredients

27-я Международная выставка оборудования, сырья и технологий для фармацевтического производства

25–28.11.2025

Москва, Крокус Экспо

Забронируйте стенд

pharmtech-expo.ru

+7 495 799 55 85
pharmtech@ite.group

ITE ОРГАНИЗАТОР
ORGANISER

0+

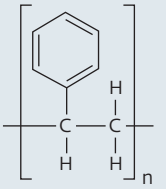
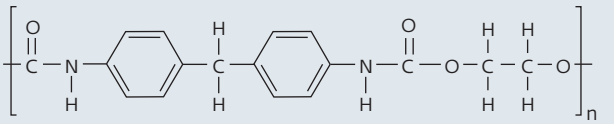
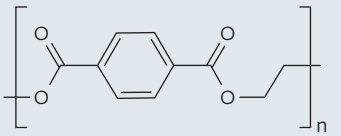
Официальная поддержка

Ассоциация Российских Фармацевтических Производителей

Союз Профессиональных Фармацевтических Организаций

Ассоциация Фармацевтических Производителей Евразийского Экономического Союза

Табл.1. *Основные полимеры*

Полимер	Обозначение	Формула
Полиэтилен (ПЭ)	02 PE-HD 04 PE-LD	$—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—$
Полипропилен (ПП)	05 PP	$[—CH_2—CH(CH_3)—]_n$
Поливинилхлорид (ПВХ)	03 PVC	$[—CH_2—CHCl—]_n$
Полистирол (ПС)	06 PS	
Полиуретан (ПУР)	–	
Полиэтилентерефталат (ПЭТ)	01 PET	

ным загрязнителем окружающей среды, можно далее разделить на ПЭ высокой плотности (ПЭВП), ПЭ низкой плотности (ПЭНП) и линейный ПЭ низкой плотности (ЛПЭНП) в зависимости от степени разветвленности цепи [8, 9]. Полимеры ПУР и ПЭТ содержат карбаматные (–OCONH–) связи и эфирные группы, которые более восприимчивы к деградации естественными микроорганизмами [10]. Для улучшения характеристик пластиковых изделий в полимеры обычно добавляют пластификаторы – фталаты, тримеллитаты, цитраты. Во время деградации или обработки пластика эти добавки также попадают в окружающую среду и изменяют химию поверхности МП, способствуя образованию поверхностных корон и агломераций [11].

Сами МП обычно стабильны и инертны, а вот образование короны является ключевым событием, которое может повлиять на транспортировку, клеточную интернализацию и биораспределение МП в биологических системах [12]. Различные компоненты окружающей среды – ионы металлов (Cu^{2+}, Mg^{2+}, Pd^{2+} и т.д.), неорганические соли (Na^+, Cl^- и т.д.), природные органические вещества (гуминовые, фульвокислоты и т.д.), стойкие органические загрязнители адсорбируются на поверхности МП, образуя экокороны. Они способны активно взаимодействовать с окружающими биомолекулами, включая белки, липиды и нуклеиновые кислоты, в результате происходит замена компонентов на поверхности экокороны и образуются био-короны. Движущими силами

образования био-короны также являются гидрофобные и электростатические взаимодействия [13]. Образование короны полностью меняет свойства исходного МП, что также создает трудности в его классификации и определении родительского полимера (рис.3).

В поверхностных коронах были идентифицированы три типа биомолекул, включая белки, липиды и нуклеиновые кислоты (табл.2).

В течение последнего десятилетия образование биокороны активно изучается в области наномедицины, поскольку структура короны влияет на фармакологические/токсикологические профили наноразмерных носителей лекарств [22], агентов визуализации [23] и/или трансплантатов [14]. Благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам нанопластики активно и широко используются в качестве носителей антигенов, маркеров визуализации и терапевтических препаратов для диагностики и лечения заболеваний.

Предполагается, что оба вида корон по-разному влияют на распределение, миграцию, деградацию, клеточную интернализацию и токсичность МП в живых организмах, однако убедительных доказательств негативного биохимического воздействия МП пока нет, хотя число статей, посвященных этой теме, стабильно растет.

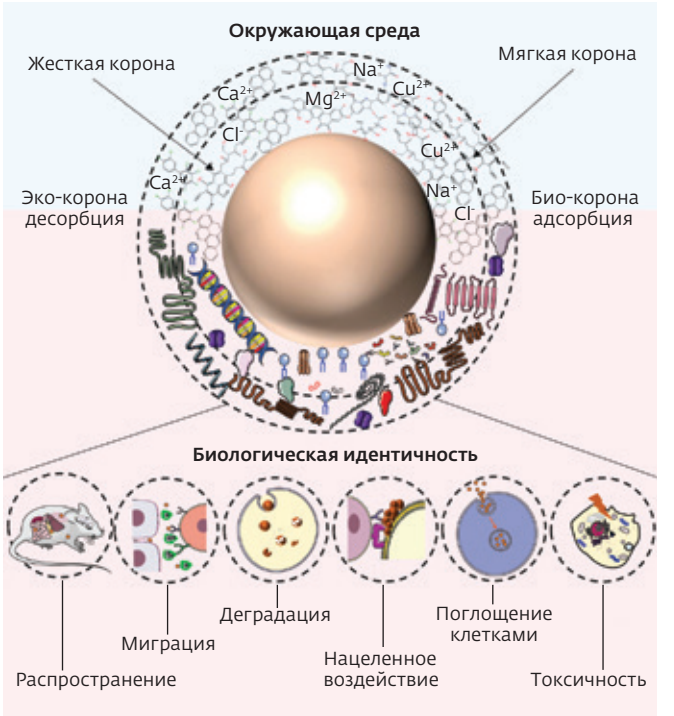


Рис.3. *Био- и эко-короны МП*

ВЛИЯНИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Итак, что же известно о влиянии МП на организм? Точно установлено, что основным путем попадания МП и НП является проглатывание. Данные о том, что МП размером менее 20 мкм способен проникать в органы, а размером менее 10 мкм – проходить через клеточные мембраны и накапливаться в тканях, в том числе, мозге [25], дока-

Табл.2. *Известные на сегодня био-короны МП*

Состав биокороны	Источник	Вид МП	Литература
Протеины	Физиологические жидкости Daphnia magna	ПС–NH_2	13
Протеины	Клеточные культуры	ПС	14
Муцин	Слизистый слой в эпителии легких	Следы ПС	15
MgC1q6 протеины	Растворимые компоненты сыворотки	ПС–NH_2	16
Карбогидраты и протеины	Экзополимерные вещества из морской диатомовой водоросли Phaeodactylum tricornutum	ПС–COOH	17
Липиды и протеины	Альвеолярная жидкость	ПС, ПЭТ, ПП, ПВХ	18
Биопленки из азот- и серосодержащих соединений	Staphylococcus aureus	Следы различного пластика	19
Нуклеиновые кислоты	Микробиом кораллов	ПЭ, ПП, ПС, ПВХ	20
Токсины	Бактерии	ПЭ, ПП	21

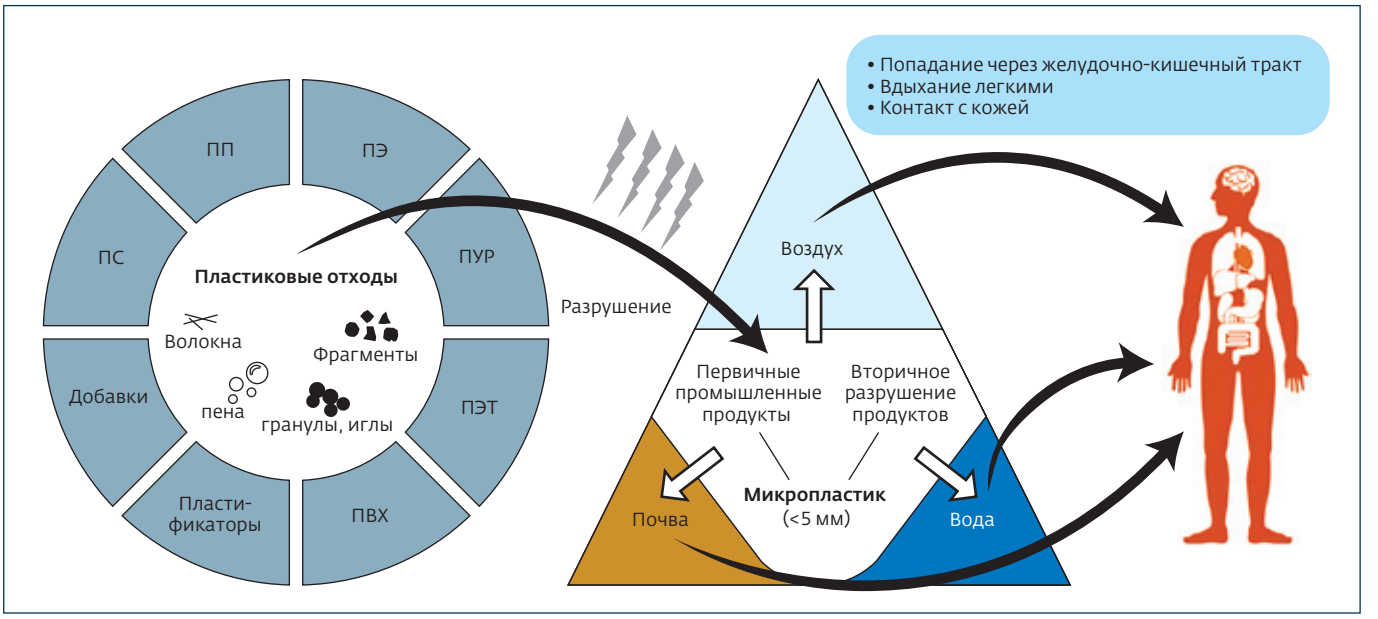


Рис.4. *Распад пластика на микропластик и его попадание в организм человека*

зательными исследованиями не подтверждаются [24] (рис.4).

В некоторых источниках встречаются данные о том, что вдыхаемый микропластик пересекает альвеолярный барьер и распространяется в органы через кровоток, откуда перераспределяется в различные органы [26]. Приводятся результаты исследований, согласно которым МП был обнаружен в ряде образцов тканей и органов человека. Однако никаких доказанных данных о негативном воздействии его на организм до сих пор не получено и нет убедительных исследований [27].

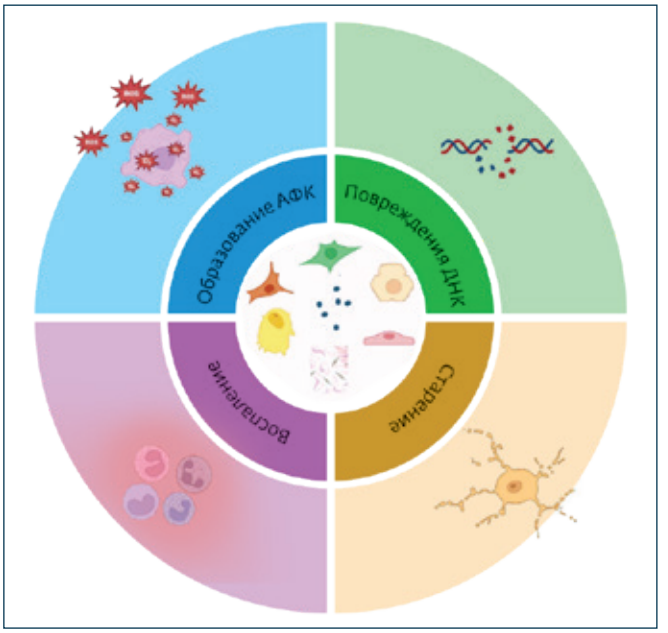


Рис.5. *Потенциальное негативное влияние МП на организм человека*

Недавние исследования токсичности МП для клеток млекопитающих показали, что для возникновения негативных эффектов нужны концентрации, во много раз превышающие те, которые обнаруживаются в окружающей среде и более 90% проглоченного МП выводится из организма естественным путем [28, 29].

В настоящее время активно изучаются четыре мишени негативного воздействия МП на организм – провоцирование окислительного стресса за счет генерации свободных радикалов, генотоксичность, активация воспалительных путей и старение (рис.5).

Некоторые исследования показывают способность МП генерировать внеклеточные свободные радикалы. Процессы выветривания, действие фото-, термоокисления и УФ-излучения приводит к химическому изменению на поверхности пластиковых полимеров с образованием вдоль полимерной цепи свободных радикалов, которые, реагируя с кислородом воздуха, дают полимерные пероксидные радикалы с дальнейшей генерацией вторичных полимерных алкильных радикалов [30]. Проникая в клетки, эти частицы проявляют генотоксические свойства за счет окислительного повреждения ДНК. Пока доступны только единичные исследования с участием моделей водных организмов. Как у мидий, так и в гемоцитах S. plana наблюдался разрыв цепей ДНК после обработки микрочастицами полистирола и поли-

gotoipheb.ru | +7 921 330 6218

IPhEB

Международная выставка и форум по фармацевтике и биотехнологиям

7–9 апреля 2026 | Санкт-Петербург

Поддержка:

МИНПРОМТОРГ РОССИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПАЛАТА

АССОЦИАЦИЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ЕВРАЗИЙСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА

СПХФУ

Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет

Организатор:

РЕСТЭК

этилена (20 мкм) соответственно [31, 32]. Согласно обоим исследованиям, наблюдаемое повреждение ДНК связано с окислительным стрессом.

Результаты исследований воспалительных реакций МП также противоречивы – недавние испытания in vivo на крысах показали, что МП стимулирует дерегуляцию цитокинов, связанных и с провоспалительными, и с противовоспалительными реакциями организма, запуская так называемый уравновешивающий механизм [33, 34].

За счет генерации активных форм кислорода и окислительного стресса теоретически МП способен вызывать молекулярные признаки старения в клетках человека и животных, однако механизм этого процесса практически не исследован. Установлено, что физические характеристики МП, такие как размер, форма и площадь поверхности, а также химические добавки и поглощенные загрязнители окружающей среды могут усиливать генерацию АФК. Так, более мелкие частицы из-за большего соотношения площади поверхности к объему легче попадают в организм и вызывают более значительные окислительные реакции [35]. Не до конца решен вопрос о том, в каких единицах следует выражать дозу МП. Большинство существующих методов позволяют оценивать ее как через массовую концентрацию, так и через число частиц. Но в случае крайне гетерогенного состава МП оба этих показателя могут оказаться в недостаточной степени информативными [36]. Однако из-за отсутствия единой классификации, методик определения и анализа МП проблема изучения влияния МП на организм пока не решена.

ПРОБЛЕМЫ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ

В настоящее время для анализа МП применяются разнообразные физические и химические методы, однако единой эффективной стратегии анализа этих объектов до сих пор не предложено. Изучение МП чаще всего производится по стандартной схеме – пробоотбор и пробоподготовка, фильтрация, анализ выбранным методом и последующая обработка данных. В случае МП каждая из стадий сталкивается с проблемами.

Пробоотбор часто нерелевантен объекту исследования (водная среда, воздух, продукты питания), и последующий анализ не дает объективной оценки содержания МП и НП в исследуемом объекте. Главная причина этого – отсутствие единой классификации, что считать МП, и единого стандарта отбора проб в приложении к ним. Например, оценка содержания МП в пищевых продуктах затруднена его низким удельным содержанием и трудностью выделения из ряда природных матриц. При отборе проб водных объектов, почвы или воздуха для оценки содержания МП нет стандартных рекомендаций по объему каждой пробы, поэтому нередко данные о процентном содержании МП в выбранном экологическом объекте являются противоречивыми. Качество и степень полноты выделения МП очень сильно зависят от размера пор фильтрующего материала, чаще всего используются мембраны размером ≥5 мкм, которые неспособны уловить НП.

После выделения МП на мембранном фильтре его необходимо собрать для исследования, что также сталкивается с проблемами из-за возможной адгезии МП к материалу фильтра. При сопоставимости размеров частиц МП с порами фильтра часть МП остается в них, задерживаясь механически. Варианты анализа МП спектроскопическими методами непосредственно на фильтре часто дают низкое качество результатов из-за помех, вызванных поглощением ИК-излучения материалом подложки. Важно отметить, что при проведении пробоотбора и последующих манипуляций с МП не допускается использование пластмассовой посуды и укупорочных средств, следует использовать только стеклянную и металлическую посуду, не содержащую никаких пластиковых элементов. Часто это требование не соблюдается, что приводит к искажению результатов анализа.

Разнообразный химический состав пластиков также препятствует созданию единого протокола определения МП. Например, ПЭ и ПП, которые являются простыми полиолефинами, можно легко идентифицировать и различить с помощью ИК-Фурье спектрометра, тогда как сигналы в спектрах ПС, ПУР и ПЭТ часто перекрываются. Наличие в пластиках добавок, эко- или биокорон также сильно искажает спектральные данные.

В основном для МП используют различные микроскопические методы (препарирование, поляризационная, флуоресцентная, сканирующая электронная и атомно-силовая микроскопия), однако все они имеют определенные ограничения [37] (табл.3).

Наиболее широко для характеристики МП используется ИК-Фурье-спектроскопия [38–40]. На рис.6 показаны спектры ИК-Фурье некоторых МП, извлеченных из желудочно-кишечного тракта японской рисовой рыбы (Oryzias latipes). Полученные спектры позволлили точно идентифицировать материал МП, сравнив его с известными эталонными спектрами.

Более крупные частицы (>500 нм) анализируют с помощью НПВО-ИК-Фурье спектроскопии, для мелких частиц хорошие результаты показывает микро- ИК-Фурье (μ-FTIR), который позволяет получать одновременную визуализацию, картирование и запись спектров. Использование различных режимов, например НПВО (нарушенное полное внутреннее отражение), дает высококачественные спектры, но требует инфракрасно-прозрачной подложки. Режим отражения используется для толстых

ЛАБОРАТОРНОЕ И УЧЕБНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ПРОИЗВОДСТВО И ПОСТАВКИ

ГОТОВЫЕ РЕШЕНИЯ

Крисмас®

Система менеджмента качества предприятия сертифицирована на соответствие требованиям международного стандарта ISO 9001

christmas-plus.ru

Оборудование:
для газового анализа,
анализа воды (в том числе в котельных),
почвы, нефти и нефтепродуктов,
санитарно-пищевого контроля.

Лаборатории:
химического контроля и разведки,
судовые.

Лабораторное оборудование и приборы

Мебель:
лабораторная и кабинетная.

Нормативно-методические и справочные документы

Комплексное оснащение производственных и научных лабораторий
30-летний опыт оснащения
и проектирования лабораторий.

Отдел продаж ГК «Крисмас»:
191119 Санкт-Петербург, ул. К. Заслонова, д. 6
(812) 575-54-07; 575-55-43
8 (800) 302-92-25 (звонок по России бесплатный)
info@christmas-plus.ru

Эксклюзивный дилер в Москве:
127247 г. Москва,
Дмитровское шоссе, д. 96, корп. 2
n-chernyh@christmas-plus.ru
ecologlab.ru

ЛАБОРАТОРНОЕ И УЧЕБНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ПРОИЗВОДСТВО И ПОСТАВКИ

ОТЕЧЕСТВЕННОЕ ЭКОНОМИЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ОТ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА КАЧЕСТВА ВОЗДУШНОЙ И ГАЗОВОЙ СРЕДЫ

ГОТОВЫЕ РЕШЕНИЯ

Крисмас®

Система менеджмента качества предприятия сертифицирована на соответствие требованиям международного стандарта ISO 9001

Поставляем более **1000** наименований индикаторных трубок

christmas-plus.ru

Индикаторные трубки производства ЗАО «Крисмас+»:

Определяемый компонент	Диапазон измеряемой концентрации, мг/м³
Аммиак	0,2-5,0
Аммиак	2-10 10-100
Аммиак	10-100 100-1000
Аммиак	10-100 100-2000
Ацетальдегид	1-50
Ацетальдегид	1-30 5-100
Ацетальдегид	100-2000
Ацетилен	50-1200
Ацетилен	200-5000
Ацетон	100-1000 200-10000
Бензин (по гексану)	50-200 200-4000
Бензин (по гексану)	100-500 500-6000
Бензол	2-30
Бензол	5-200 100-1500
Бром	0,25-10
Бром	0,5-10
Бутанол, изобутанол	5-200
Бутанол, изобутанол	5-300
Гексан	10-120
Гексан	10-100 50-300
Диоксид азота	1-10 5-50
Диоксид азота	1-10 10-250
Диоксид серы	1-10 10-130
Диоксид серы	2-20 20-130
Диоксид серы	2-20 10-190
Диоксид серы	10-200 100-2500
Диоксид углерода	0,03-0,1% (об.) 0,1-2,0%(об.)
Диоксид углерода	0,2-10,0%(об.)
Диоксид углерода	0,2-5,0 %(об.) 5,0-30,0 %(об.)
Дизельное топливо (в пересчёте на декан)2)	200-6000
Диэтиловый эфир	100-500 500-3000
Керосин (в пересчёте на декан)2)	50-500 100-4000
Ксилол	5-100 100-1500
Ксилол	20-200 100-1500
Метанол	2-50 10-300
Метанол	20-1000
Озон	0,05-0,5 0,2-3,0

Определяемый компонент	Диапазон измеряемой концентрации, мг/м³
Озон	0,05-1,0 1,0-15,0
Оксид азота	1-10 5-50
Оксид азота	1-10 5-250
Пропанол, изопропанол	5-200
Пропанол, изопропанол	5-300
Сероводород	0,2-5,0 0,5-20
Сероводород	0,5-10 10-200
Сероводород	2-30 10-120
Сероводород	0,5-10 10-120
Сероводород	10-100 100-1000
Сероводород	10-100 100-2000
Сумма оксидов азота (в пересчёте на диоксид азота)	1-10 5-50
Сумма оксидов азота (в пересчёте на диоксид азота)	1-10 10-250
Стирол	5-200 200-3000
Толуол	5-100 100-2000
Толуол	20-200 200-2000
Трихлорэтилен	2-30 5-150
Уайт-спирит2)	50-500 100-4000
Углеводороды нефти (в пересчёте на гексан) 2)3)	50-2000
Углеводороды нефти (в пересчёте на гексан) 2)3)	50-200 200-4000
Уксусная кислота	2-20 20-300
Уксусная кислота	2-50 50-2000
Фенол	0,3-30
Фенол	2-50 50-300
Формальдегид	0,2-5,0
Формальдегид	1-10 10-100
Фтористый водород	0,2-5,0 0,5-20,0
Фтористый водород	2-20 20-500
Хлор	0,5-10 10-200
Хлористый водород	0,3-0,6 5-60
Хлористый водород	1-10 10-150
Хлороформ	2-200
Этанол	200-5000

Внесены в Госреестр средств измерений РФ, Беларуси, Казахстана.

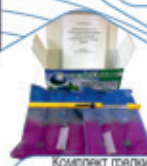
Российский производитель

Мини-экспресс-лаборатория «Пчёлка-Р»

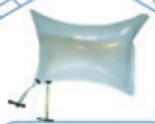
Индикаторные трубки

Насос-пробоотборник ручной НП-3М

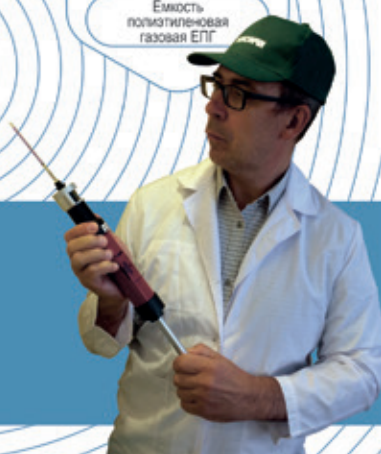
Зонд пробоотборный модели ЗП-ГХКМ



Комплект грелки для работы с индикаторными трубками в условиях пониженных температур



Ёмкость полиэтиленовая газовая ЕПГ



Отдел продаж ГК «Крисмас»:
191119 Санкт-Петербург, ул. К. Заслонова, д. 6
(812) 575-54-07; 575-55-43
8 (800) 302-92-25 (звонок по России бесплатный)
info@christmas-plus.ru

Эксклюзивный дилер в Москве:
127247 г. Москва,
Дмитровское шоссе, д. 96, корп. 2
n-chernyh@christmas-plus.ru
ecologlab.ru

Табл.3. *Основные методы анализа МП*

Метод анализа	Достоинства	Недостатки
Физические методы анализа МП - характеризуют форму, размеры, гранулометрический состав пробы и др.		
Стереомикроскопия	Быстрота, простота, определение размера и формы	Нет данных о природе МП, полимерном составе, не подходит для анализа прозрачных или мелких частиц
Просвечивающая электронная микроскопия	Очень высокое разрешение (<0,1 нм). Элементный анализ частиц в сочетании с энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией. Аналитические возможности со спектроскопией потерь энергии электронов	Большие затраты времени и сложная пробоподготовка
Атомно-силовая микроскопия	Отсутствие радиационного повреждения образца. Трехмерные изображения структуры поверхности полимеров с разрешением до 0,3 нм	Повреждения, вызванные взаимодействием наконечника с образцом, могут исказить результаты
Флуоресцентная микроскопия	Обнаружение прозрачных частиц с визуализацией	Химические добавки в образце влияют на флуоресценцию, искажая результаты
Физико-химические методы анализа МП - характеризуют состав		
Сканирующая электронная микроскопия	Четкие изображения частиц с высоким разрешением. Возможность элементного анализа и детектирования мелких частиц МП и НП в различных режимах	Дорогостоящеее оборудование, затраты времени, не дает информации о типе полимера
Рамановская спектроскопия	Обнаружение МП (1 мкм) и НП (<1 мкм). Отсутствие ложноположительных или отрицательных данных. Неразрушающий анализ материалов. Возможен анализ образцов в растворах, газах, пленках, на поверхности, твердых телах и монокристаллах	Дорогостоящее оборудование, затраты времени, сложная пробоподготовка
ИК-Фурье-спектроскопия	Подтверждение состава МП. Отсутствие ложноположительных или ложноотрицательных данных. Обнаружение МП размером менее 20 мкм с помощью μ-FTIR-неразрушающего анализа материалов	Длина волны излучения может быть ограничивающим фактором обнаружения. Требуется много времени для анализа всех частиц на фильтре. Искажение результатов вследствие поглощения излучения материалом фильтра. Помехи вследствие следовых количеств воды в образце
Термальный анализ	Возможность анализа труднорастворимых образцов	Разрушение образца, сложноинтерпретируемые данные

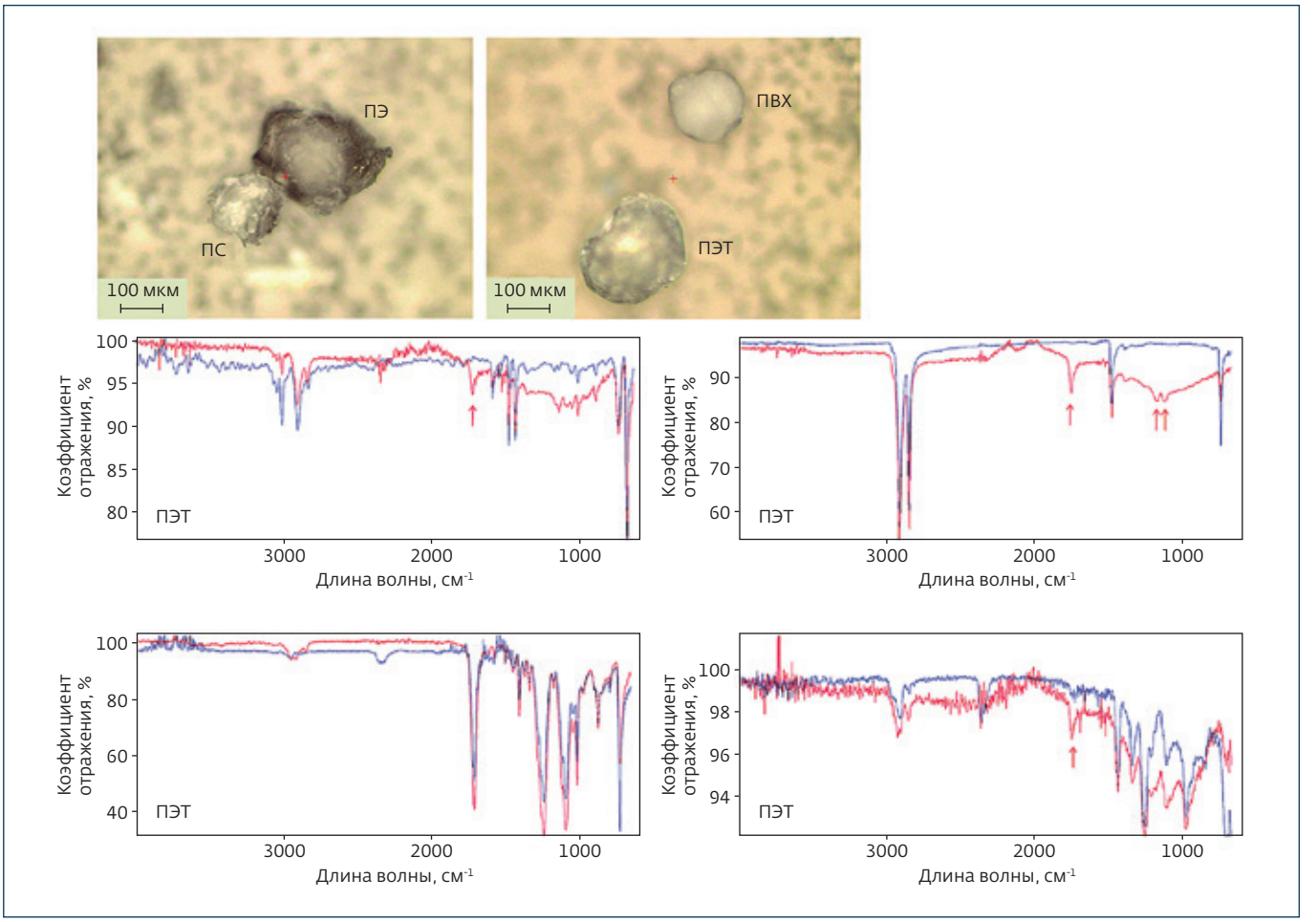


Рис.6. *150 мкм ПС, 250 мкм ПЭ, 250 мкм ПЭТ и 150 мкм ПВХ, экстрагированные сверхчистой водой и ПУЭ, демонстрируют сниженные пики белка и жира в ИК-спектре с Фурье-преобразованием и отсутствие пиков соли. Для всех спектров ИК-Фурье-спектроскопии извлеченные МР (красные) сравниваются с исходными эталонными МР (синие)*

образцов, но неровные поверхности частиц часто мешают анализу из-за рефракционной ошибки [41].

Благодаря тому, что МП различаются по своей термической стабильности, помимо ИК-Фурье-спектроскопии используют термоаналитические методы, когда идентификация МП проводится по продуктам его деградации [42]. Термические методы особенно важны для характеристики малорастворимых МП. Известны примеры термического анализа МП с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии, термогравиметрии, пиролитической газовой хромато-масс-спектрометрии и их комбинации. Однако это деструктивный метод, который не позволяет провести анализ МП другими методами, и его используют только для первичного скрининга объемных образцов перед спектроскопическим анализом.

На сегодняшний день достаточно надежных методов для быстрой и безошибочной идентификации МП до сих пор не найдено, отсутствует какой-либо единый подход, позволяющий эффективно решить задачу определения МП универсальным образом.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ. ЛАЗЕРНАЯ СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ AGILENT 8700 (LDIR)

Одна из ведущих мировых компаний в области аналитического и лабораторного приборостроения Agilent Technologies в начале 2020 года представила Agilent 8700 (LDIR) – принципиально новую систему визуализации химического состава на основе метода прямой лазерной ИК-спектроскопии. Система предназначена для широкого круга приложений: объектов фармацевтики, материаловедения, полимеров, узкоспециализированных исследований в области прикладных наук и др. (рис.7). Данное инструментальное решение на сегодняшний день является одним из наиболее эффективных в области исследований и контроля МП.

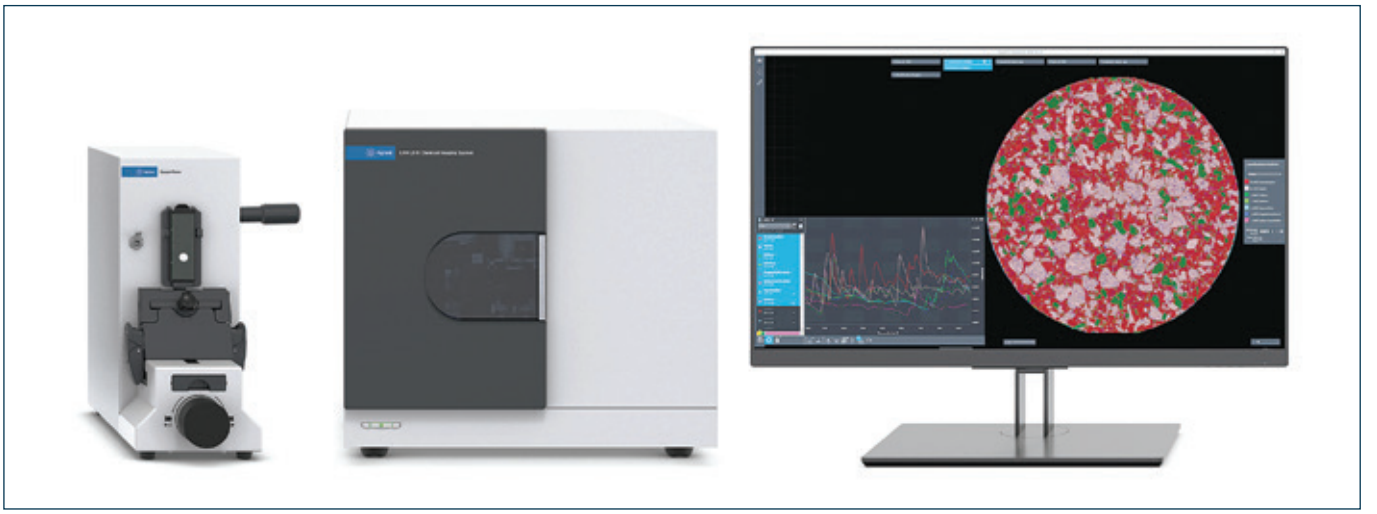


Рис.7. *Agilent Sample Planer (устройство пробоподготовки), система визуализации химических свойств Agilent 8700 LDIR и окно анализа программного обеспечения Agilent Clarity*

Для создания высококачественных изображений, картирования образца и получения спектральных данных для химической идентификации в Agilent 8700 LDIR использована самая современная технология квантово-каскадного лазера (QCL) в сочетании с быстросканирующей оптикой. Система управляется интуитивно понятным программным обеспечением Agilent Clarity, предназначенным для быстрой и подробной визуализации всего объема пробы с минимальным количеством манипуляций при загрузке и запуске аналитического метода.

Встроенный ИК-спектрометр с преобразованием Фурье работает режимах отражения и НПВО, автоматически переключаясь между ними. Перемещение пробы относительно сканирующего лазерного луча полностью автоматизировано. Два оптических канала: с высоким пространственным разрешением для получения качественного изображения всего объема пробы и с максимальной разрешающей способностью для фиксации деталей при большом увеличении дают полную картину гранулометрического состава исследуемого образца и детальный химический анализ локальных объектов с необходимой метрологической точностью и без замены оптики.

Инфракрасное излучение QCL, направленное на пробу, отражается и направляется на детектор

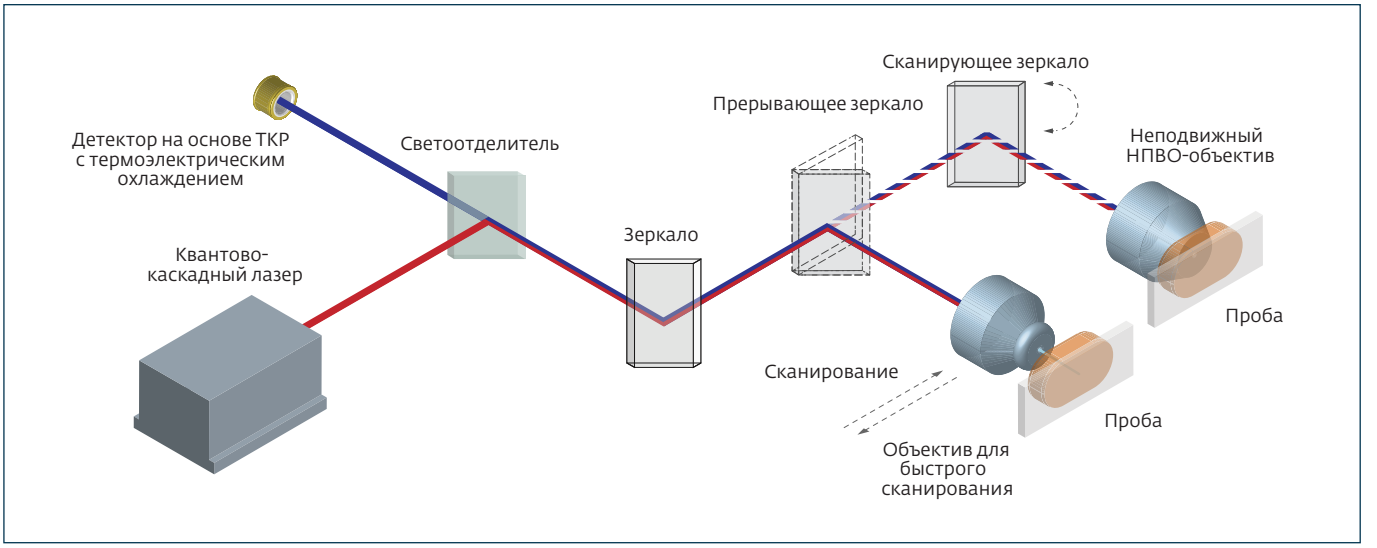


Рис.8. *Схема работы Agilent 8700 LDIR. Режим отражения показан сплошной линией, НПВО прерывистой линией, ИК-излучение – красная линия, две возможные оптические траектории показаны синим*

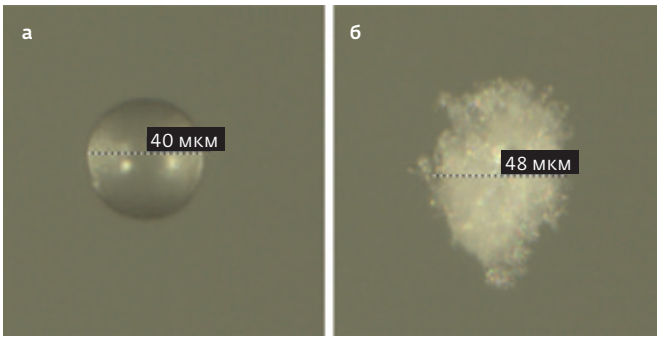


Рис.9. *Изображения с камеры системы химической визуализации Agilent 8700 LDIR: а – прозрачная ПЭ микросфера; б – стеарат цинка*

по одной из двух возможных оптических траекторий по системе зеркал (рис.8). В результате для анализируемого объекта получают не только данные о гранулометрическом составе и ИК-спектр высокого качества, но и благодаря специализированному программному обеспечению Clarity полученные ИК-спектры сразу сопоставляются с предустановленными в приборе библиотечными [43].

Система Agilent 8700 LDIR позволяет за короткое время получать сравнительную качественную и количественную информацию о компонентах исследуемых объектов без использования сложных комплексных методик и трудоемкой пробоподготовки, подходит для поточного анализа большого количества проб. В приложении к анализу МП Agilent 8700 LDIR не имеет недостатков, присущих стандартным методам. Полное сканирование и картирование образца дает максимально точные результаты измерений и снижает погрешность, вносимую экстраполяцией в случае, когда анализируется только часть суспендированной пробы небольшой площади [44, 45].

Далее будут рассмотрены примеры исследований МП на Agilent 8700 (LDIR).

AGILENT 8700 (LDIR) ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПЛАСТИКОВ И ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Идентификация МП сталкивается с проблемами точного определения полимера вследствие присутствия

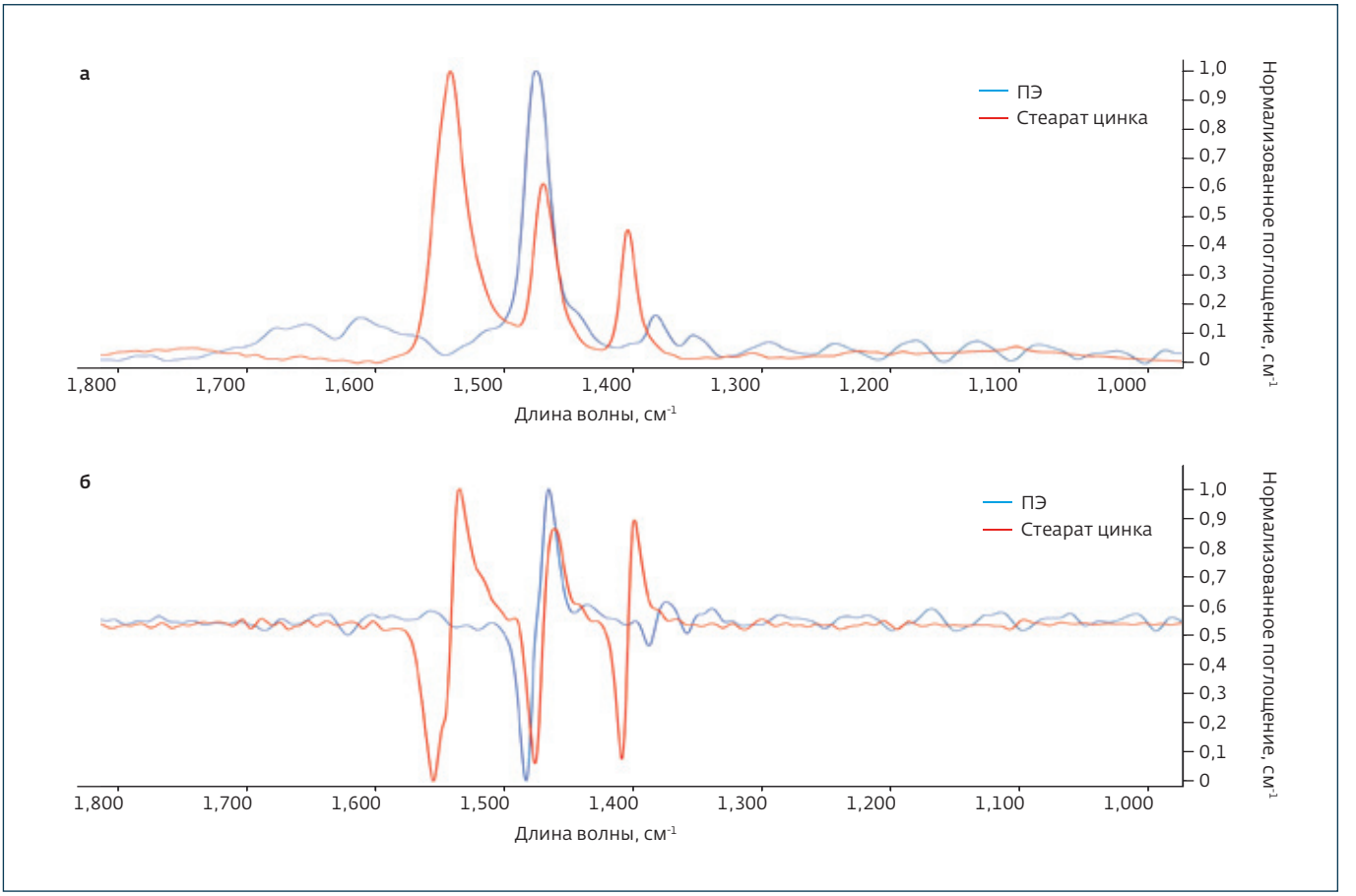
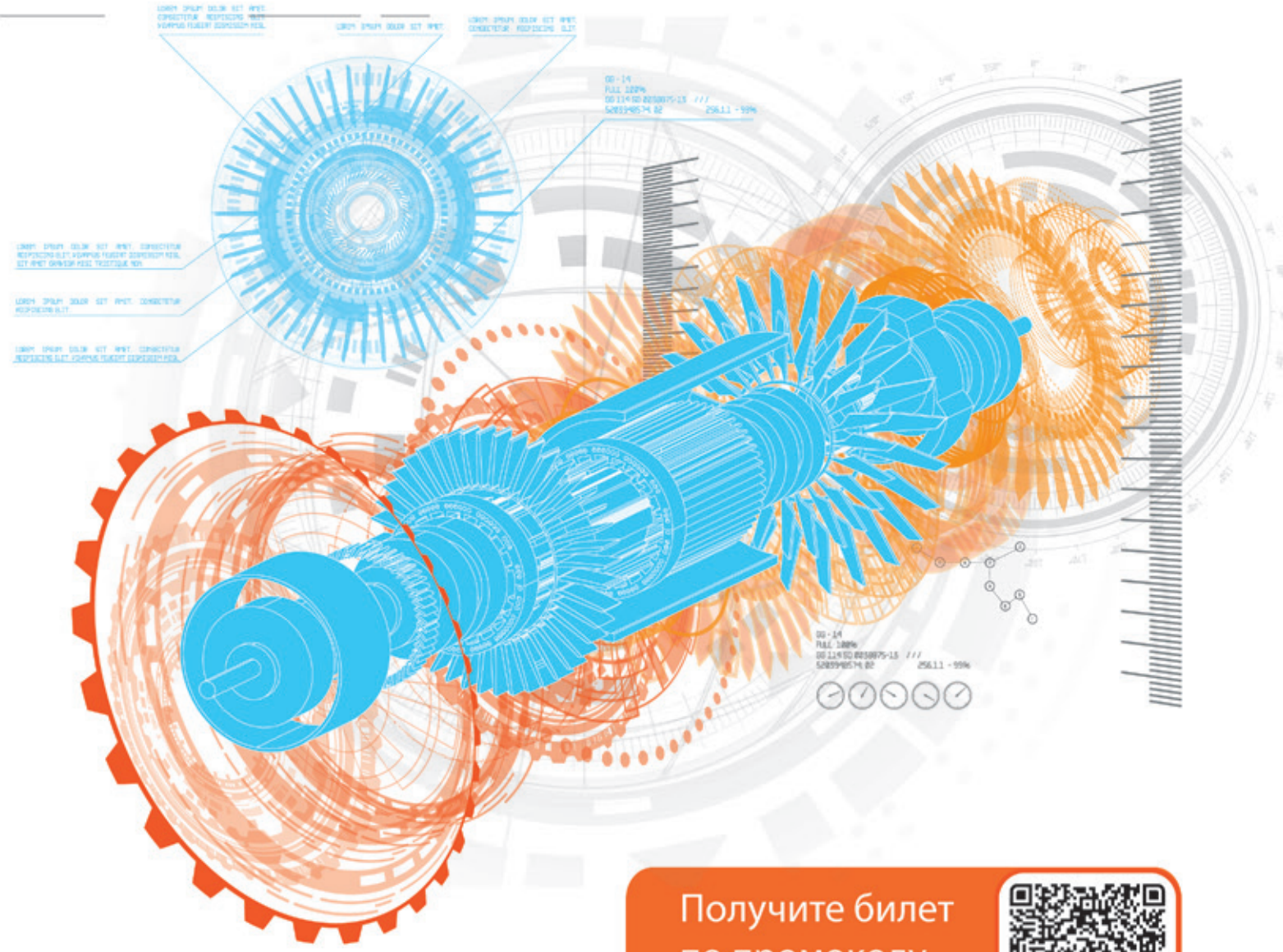


Рис.10. *Наложение спектра ПЭ и стеарата цинка: а – нормализованное поглощение; б – первая производная (программное обеспечение Clarity)*

Testing&Control

21–23 октября 2025
Москва, МВЦ «Крокус Экспо»

22-я Международная выставка испытательного и контрольно-измерительного оборудования



Получите билет по промокоду
labpro25

Организатор
Международная Выставочная Компания
+7 (495) 252 11 07
control@mvk.ru

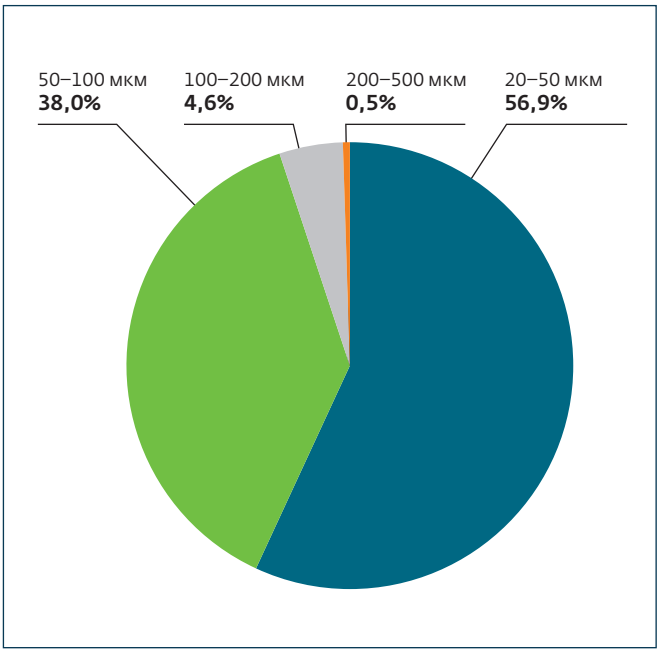


Рис.11. *Доля частиц различных размеров среди идентифицированных микрочастиц и волокон пластиков: акрилаты/полиуретаны/лаки (39,2%), полиэтилентерефталат (26,0%), хлорированный полиэтилен (7,1%), поливинилхлорид (6,0%), полиэтилен (5,2%), полипропилен (5,2%) и резина (4,3%)*

в нем различных загрязнителей или добавок, которые мешают спектральному сопоставлению. Некоторые длинноцепочечные органические молекулы имеют схожие с МП ИК-спектры, что приводит к ложноположительной идентификации МП. Одной из таких добавок, которая мешает идентификации ПЭ, является стеарат цинка. При производстве пластмасс он предотвращает прилипание пластика к формовочному и экструзионному оборудованию, снижает трение между пластиком и оборудованием, улучшая текучесть пластика, и увеличивает его долговечность, предотвращая деградацию под воздействием ультрафиолета и тепла. Характеристичной областью ИК-спектра для ПЭ являются валентные колебания связей C-H в области 1480–1440 см$^{-1}$, эту же полосу поглощения имеет и стеарат цинка, что не позволяет провести спектральное разделение этих компонентов.

Для изучения возможностей системы химической визуализации 8700 LDIR для верификации и идентификации материалов, а также для отделения МП от немикропластика на первом этапе была проверена идентичность коммерчески доступного стеарата цинка, далее с использованием автоматизированного рабочего процесса анализа частиц 8700 LDIR и библиотеки Agilent Microplastics

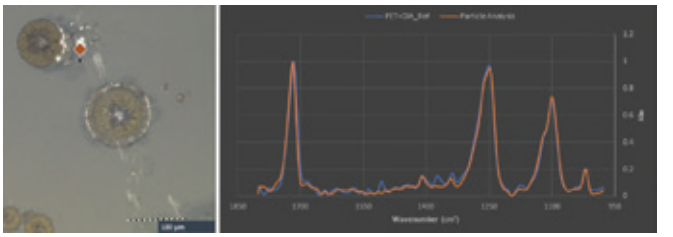


Рис.12. *Видимое изображение (слева) и ИК-спектр, полученный с помощью функции микроНПВО (в сравнении с лучшим совпадением из библиотеки), частицы ПЭТ (помеченной оранжевым маркером), соединенной с диатомовой водорослью*

Starter 2.0 прозрачные МП из ПЭ низкой плотности были успешно идентифицированы и отделены (рис.9). Система химической визуализации Agilent 8700 LDIR позволила не только получить качественные изображения частиц, но и полностью их охарактеризовать.

Записанные ИК-спектры позволили однозначно определить МП и стеарат цинка по характерному сигналу последнего в области 1500–1660 см$^{-1}$ (рис.10).

Полностью автоматизированный метод анализа частиц в программном обеспечении Agilent Clarity позволил быстро и точно провести разделение частиц, получить визуальные изображения, результаты гранулометрического и химического анализа и информацию об их распределении.

AGILENT 8700 (LDIR) В АНАЛИЗЕ ПРОБ ВОДЫ

С помощью системы Agilent 8700 LDIR были успешно проведены анализы проб воды Индийского океана. На первом этапе фракции 10–300 мкм очищали от органических и неорганических компонентов матрицы, затем диспергировали в 50% раствор этанола и осаждали на предметные стекла с отражающим ИК-излучение покрытием, которые далее анализировали системой Agilent 8700 LDIR.

Для МП отсутствуют эталонные стандарты, поэтому для валидации методики применяли специально синтезированные эталонные МП полиэтилена, полиэтилентерефталата, полипропилена и поливинилиденхлорида размером 20–500 мкм [44]. После проведения анализа на Agilent 8700 LDIR были точно идентифицированы 30 471 частица природного и 635 частиц синтетического происхождения, а также 14 различных кластеров полимеров (рис.11). Практически все образцы МП имели размер менее 100 мкм.

Использованный в работе сертифицированный эталонный стандарт природной матрицы – планктон BCR-414 позволил получить изображение частицы МП на диатомовой водоросли и с помощью функции микро-НПВО однозначно определить тип полимера (ПЭТ) (рис.12).

Обычно большинство частиц МП представляют собой отдельные фрагменты, однако встречаются МП, выборочно покрытые биопленками, анализ которых гораздо сложнее. Для анализа таких систем в Agilent 8700 LDIR предусмотрена возможность многопикового анализа в сочетании с режимом микроНПВО. Многопиковый анализ помогает идентифицировать различные компоненты таких "смешанных" МП из окружающей среды и четко разделить по спектрам границы таких участков. С использованием данного подхода была проанализирована крупная частица ПУ, некоторые участки которой были покрыты целлюлозой, а другие представляли собой смесь ПУ и акрилата (рис.13).

Результаты автоматизированного метода были проверены измерениями вручную в режиме трансфлексии ИК-излучения и выборочно анализом в режиме микроНПВО. Для фракции с размером частиц более 300 мкм результаты LDIR, полученные с использованием базы данных спектров МП, и результаты традиционного ИК-фурье-анализа в режиме НПВО хорошо совпадали друг с другом. Метод визуализации химического состава на основе прямой лазерной ИК-спектроскопии (LDIR), реализованный в системе Agilent 8700 LDIR, отличается высокой скоростью, простотой и полной автоматизацией процесса и служит надежным инструментом для поиска и анализа МП в пробах морской воды большого объема. Данное приборное решение будет полезно не только для крупномасштабных исследований, но и для рутинного мониторинга, при котором скорость сбора данных имеет решающее значение.

AGILENT 8700 (LDIR) ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МП В ДЕТСКОМ ПИТАНИИ

Помимо повсеместного присутствия МП в различных объектах окружающей среды, питьевой воде и продуктах питания, он был обнаружен в составе смесей для детского питания, которые обычно герметично упаковываются в алюминиевые банки с пластиковой крышкой, а внутри контейнера часто есть пластиковая мерная ложка для измерения количества. В недавнем исследовании в детском питании обнаружили 17,3 МП/г смеси (медиана), на ПУР и полиамид приходилось 67% общего количества обнаруженного МП [46].

Детские смеси являются довольно сложным объектом анализа, при работе с ними обычно требуется использование химических реагентов. Однако система Agilent 8700 LDIR позволяет проводить идентификацию МП в этих объектах после экстракции прямо на фильтрах. Благодаря двум возможным позициям держателя образцы возможно охарактеризовать последовательно и вывести результаты для каждого по отдельности либо одновременно. Метод прямого анализа на фильтре упрощает рабочий процесс, устраняя необходимость длительной подготовки образца, и снижает вероятность его потери или загрязнения.

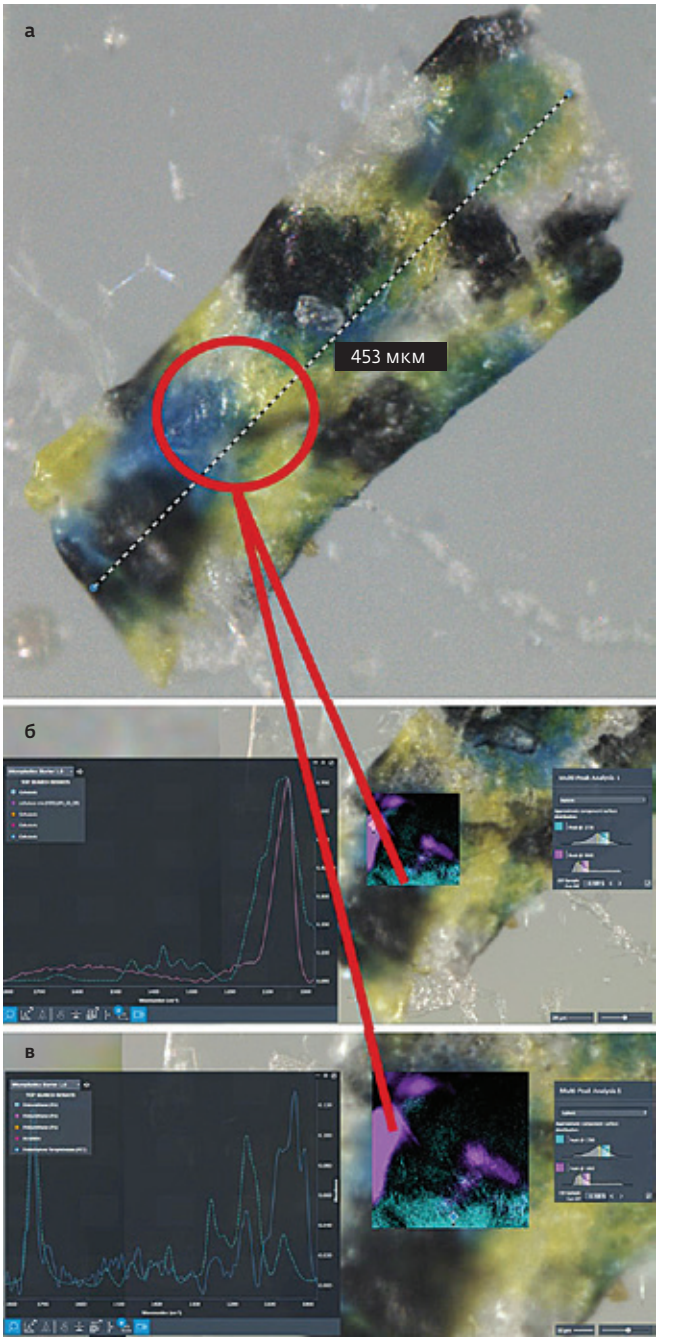
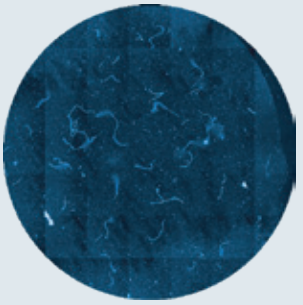
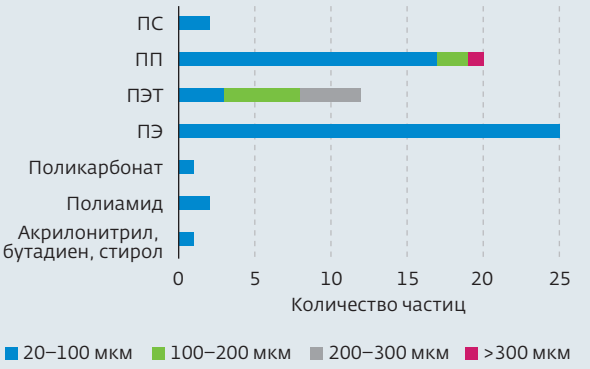
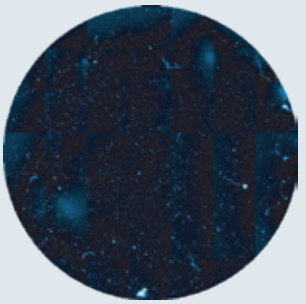
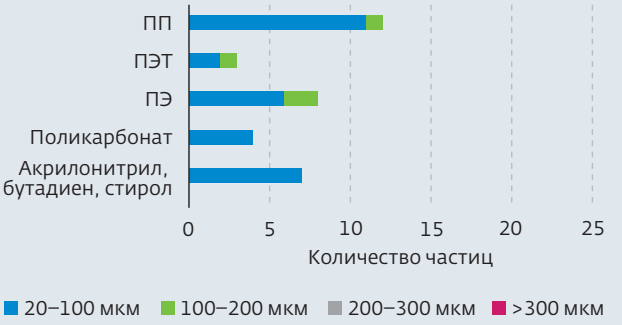


Рис.13. *Частица полиуретана, предположительно частично покрытая биопленкой, во время анализа в многопиковом режиме показала сильное поглощение при v = 1045 см⁻¹ и v = 1730 см⁻¹ (а). Спектр фиолетовых участков хорошо согласуется с эталонным спектром целлюлозы (б), а голубых – со спектром полиуретана и акрилатов (в)*

Табл.4. *Сводная таблица результатов определения МП в образце детской смеси*

Инфракрасное изображение	Общее число частиц	МП с критерием качества частиц >0,8	Распределение размеров и идентификация МП
	1,979	63	
	2,493	34	

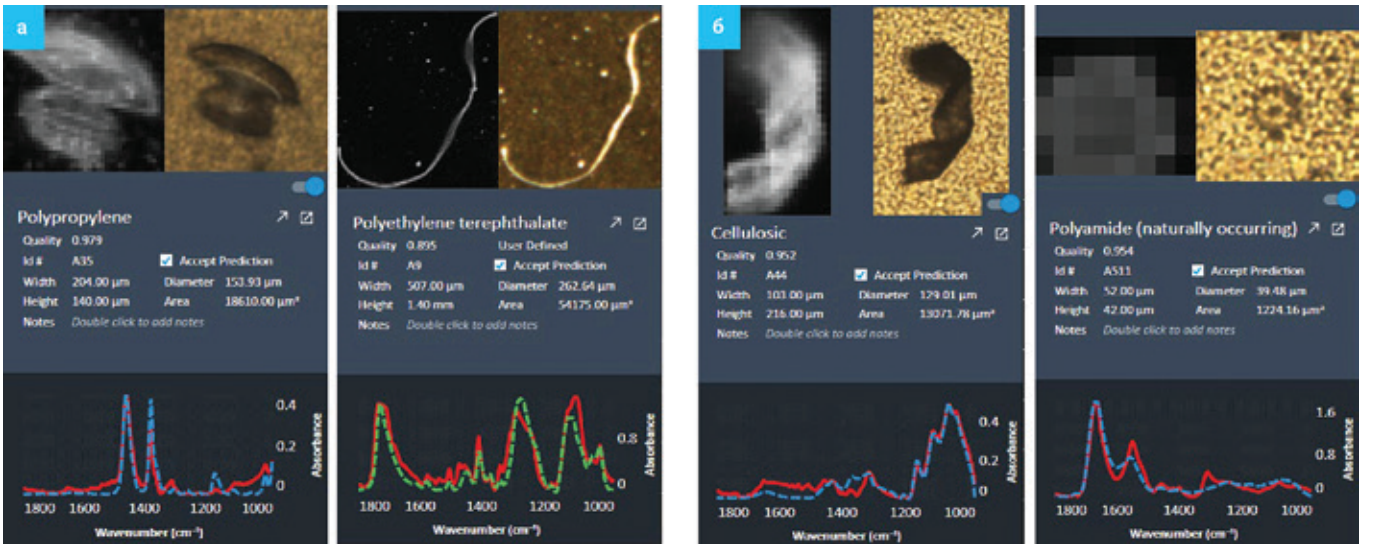


Рис.14. *Анализ образца детского питания: а – определение частиц МП (ПП, ПЭТ); б – определение частиц природного происхождения (целлюлоза, полиамид природного происхождения)*

Два образца смесей для детского питания были проанализированы Agilent 8700 LDIR в сверхчистой воде Milli-Q и насыщенном растворе NaCl непосредственно на полиэфирных мембранных фильтрах с золотым покрытием. В обоих образцах детского питания были найдены частицы МП из ПК, ПЭ и ПП в диапазоне размеров от 20 до 100 мкм (табл.4, рис.14а). Для каждого образца были сделаны изображения частиц, проведена идентификация МП и получены данные о распределении размеров.

Остальные частицы также были идентифицированы и представляли собой не МП, а полиамиды природного происхождения или целлюлозные материалы (рис.14б).

Процедуры подготовки образцов с помощью вакуумной фильтрации и методы LDIR обеспечивают эффективный анализ МП и значительную экономию времени. Полностью автоматизированный рабочий процесс системы обеспечивает быструю обработку большого количества образцов, что делает его пригодным для рутинных применений в контроле качества или в крупных мониторинговых исследованиях.

* * * *

Несмотря на признание некоторого воздействия МП на окружающую среду и живые организмы, а также появление отдельных, достаточно универсальных методов его инструментального исследования, проблема МП до сих пор вызывает множество дискуссий. Остается неясным и даже спорным негативное влияние МП, попадающего в организм различными путями, включая вдыхание, употребление пищи, воды или контакт с кожей. Кроме того, существуют значительные различия между МП, встречающимся в природе, и МП, синтезированным в лабораториях для изучения, в отношении его размеров, формы, химического поведения и способности к образованию корон. Все большую важность приобретает разработка эффективных технологий для точной идентификации, количественной оценки динамического отслеживания МП и его внутриклеточной локализации в биологических системах. В связи с этим представляется логичным прежде всего прийти к точному определению микропластиков, выработать их классификациию и сформировать единую платформу для анализа этих сложных объектов и только на следующем этапе переходить к разработке стратегии законодательного регулирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Wolff C.M.** et al. Immune and inflammatory responses of human macrophages, dendritic cells, and T-cells in presence of micro- and nanoplastic of different types and sizes// J. Hazard Mater. 2023. Vol. 459. P. 132194.
2. **Koner S.** et al. Cellular response of THP-1 macrophages to polystyrene microplastics exposure // Toxicology. 2023. Vol. 483. P. 153385.
3. **Florance I.** et al. Exposure to polystyrene nanoplastics impairs lipid metabolism in human and murine macrophages in vitro// Ecotoxicol. Environ. Saf. 2022. Vol. 238. P.113612.
4. **Rohais S.** et al. A source-to-sink perspective of an anthropogenic marker: a first assessment of microplastics concentration, pathways, and accumulation across the environment // Earth Sci. Rev. 2024. Vol. 254. P. 104822
5. **Vethaak A.D.**, **Legler J.** Microplastics and human health // Science. 2021. Vol. 371. P. 672–674.
6. **Carpenter E.J.**, **Smith K.L.** Jr. Plastics on the Sargasso sea surface // Science. 1972. Vol. 175. P. 1240–1241.
7. **Thompson R.C.** et al. Lost at sea: where is all the plastic? // Science. 2004. Vol. 304. P. 838–838.
8. **Arndt J.-H.**, **Bruell R.**, **Macko T.** et al. Solubility of polyethylene in n-hexane and cyclohexane: experimental determination and comparison with solid-liquid equilibria-based predictions // Ind Eng Chem Res. 2021. Vol. 60. № 4. P. 14968–14976.
9. **Montazer Z.**, **Habibi Najafi M.B.**, **Levin D.B.** Challenges with verifying microbial degradation of polyethylene // Polymers. 2020. Vol. 12. P. 123.
10. **Qi X.H.**, **Ma Y.**, **Chang H.C.** et al. Evaluation of PET deg radation using artificial microbial consortia // Front Microbiol. 2021. Vol. 12. P. 778828.
11. **Hahladakis J.N.**, **Velis C.A.**, **Weber R.** et al. An overview of chemical additives present in plastics: migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling // J. Hazard Mater. 2018. Vol. 344. P. 179–199.
12. **Ramsperger A.**, **Narayana V.K.B.**, **Gross W.** et al. Environmental exposure enhances the internalization of micro plastic particles into cells // Sci Adv. 2020. Vol. 6. № 50. P. 9.
13. **Fadare O.O.**, **Wan B.**, **Liu K.** et al. Eco-Corona vs protein Corona: Effects of humic substances on corona formation and nanoplastic particle toxicity in daphnia magna // Environ Sci Technol. 2020. Vol. 54. P. 8001–8009.
14. **Nagy A.**, **Robbins N.L.** The hurdles of nanotoxicity in transplant nano medicine // Nanomedicine-Uk. 2019 Vol. 14. № 20. P. 2749–2762.
15. **Ji Y.X.**, **Wang Y.Q.**, **Shen D.H.** et al. Mucin corona delays intra cellular trafficking and alleviates cytotoxicity of nanoplastic-benzopyr ene combined contaminant // J Hazard Mater. 2021. Vol. 406. P. 124306.
16. **Canesi L.**, **Ciacci C.**, **Fabbri R.** et al. Interactions of cationic polystyrene nanoparticles with marine bivalve hemocytes in a physiological environment: Role of soluble hemolymph proteins // Environ Res. 2016. Vol. 150. P. 73–81.
17. **Grassi G.**, **Gabellieri E.**, **Cioni P.** et al. Inter play between extracellular polymeric substances (EPS) from a marine

diatom and model nanoplastic through eco-corona formation // Sci Total Environ. 2020.
18. **Li L.**, **Xu Y.**, **Li S.** et al. Molecular modeling of nanoplastic transformations in alveolar fluid and impacts on the lung surfactant film // J. Hazard Mater. 2022. Vol. 427. P. 127872.
19. **Saygin H.**, **Baysal A.** Interaction of amino acids with nanoplastic traces and their effect on staphylococcus aureus // J. Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng. 2021. Vol. 56. № 11. P. 1253–1263.
20. **Soares M.O.**, **Matos E.**, **Lucas C.** et al. Microplastics in corals: An emergent threat // Mar Pollut Bull. 2020. Vol. 161. Pt. A. P. 111810.
21. **Radisic V.**, **Nimje P.S.**, **Bienfait A.M.**, **Marathe N.P.** Marine plastics from norwegian west coast carry potentially virulent fish pathogens and opportunistic human pathogens harboring new variants of antibiotic resistance genes // Microorganisms. 2020. Vol. 8. № 8. P.1200.
22. **Francia V.**, **Yang K.**, **Deville S.** et al. Corona Composition can affect the mechanisms cells use to internalize nanoparticles // ACS Nano. 2019. Vol. 13. № 10. P. 11107–11121.
23. **Lin C.A.J.**, **Chuang W.K.**, **Huang Z.Y.** et al. Rapid transformation of protein-caged nanomaterials into microbub bles as bimodal imaging agents // ACS Nano. 2012. Vol. 6. № 6. P. 5111–5121.
24. **Kannan K.**, **Vimalkumar K.** A review of human exposure to microplastics and insights into microplastics as obesogen // Front. Endocrinol. 2021. Vol. 12.
25. **Xu J.L.** et al. A review of potential human health impacts of micro- and nanoplastics exposure // Sci. Total Environ. 2022. Vol. 851. Pt. 1. P. 158111.
26. **Das A.** The emerging role of microplastics in systemic toxicity: involvement of reactive oxygen species (ROS) // Sci. Total Environ. 2023. Vol. 895. P. 165076.
27. **Zhao B.** et al., The potential toxicity of microplastics on human health // Sci. Total Environ. 2024. Vol. 912. P. 168946.
28. **Volkl M.** et al. Pristine and artificially-aged polystyrene microplastic particles differ in regard to cellular response // J. Hazard Mater. 2022. Vol. 435. P. 128955.
29. **Smith M.** et al. Microplastics in seafood and the implications for human health // Curr. Environ. Health Rep. 2018. Vol. 5. № 3. P. 375–386.
30. **Zhang L.** et al., A quantitative study of nanoplastics within cells using magnetic resonance imaging // Sci. Total Environ. 2023. Vol. 886. P. 164033.
31. **Tan Y.** et al. Compromised autophagic effect of polystyrene nanoplastics mediated by protein corona was recovered after lysosomal degradation of corona // Environ. Sci. Technol. 2020. Vol. 54. № 18. P. 11485–11493.
32. **da Silva Brito W.A.** et al., Sonicated polyethylene terephthalate nano- and micro- plastic-induced inflammation, oxidative stress, and autophagy in vitro // Chemosphere. 2024. Vol. 355. P. 141813.
33. **Zhao W.** et al. Hydrogen bonding-mediated interaction underlies the enhanced membrane toxicity of chemically transformed polystyrene microplastics by cadmium // J. Hazard Mater. 2024. Vol. 478. P. 135562.
34. **Han S.W.**, **Choi J.**, **Ryu K.Y.** Recent progress and future directions of the research on nanoplastic-induced neurotoxicity // Neural Regen Res. 2024. Vol. 19. № 2. P.331–335.
35. **Wang X.** et al., Microplastic-mediated new mechanism of liver damage: from the perspective of the gut-liver axis // Sci. Total Environ. 2024. Vol. 919. P. 170962.
36. **Гмошинский И.В.**, **Шипелин В.А.**, **Колобанов А.И.** и др. Методы идентификации и количественного анализа микропластиков в пищевых продуктах // Вопросы питания. 2023. Т. 92. № 5.
37. **Mariano S.**, **Tacconi S.**, **Fidaleo M.** et al. Micro and Nanoplastics Identification: Classic Methods and Innovative Detection Techniques // Frontiers in Toxicology. 2021. Vol. 3.
38. **Lefebvre C.**, **Saraux C.**, **Heitz O.**, et al. MPs FTIR characterisation and distribution in the water column and digestive tracts of small pelagic fish in the Gulf of Lions // Mar. Pollut. Bull. 2019. Vol. 142. P. 510–519.
39. **Schwabl P.**, **Köppel S.**, **Königshofer P.** et al. Detection of various MPs in human stool: a prospective case series // Ann. Intern. Med. 2019. Vol. 171. P. 453–457.
40. **Corami F.**, **Rosso B.**, **Bravo B.** et al. A novel method for purification, quantitative analysis and characterization of microplastic fibers using micro-FTIR // Chemosphere. 2020. Vol. 238. P. 124564.
41. **Harrison J.P.**, **Ojeda J.J.**, **Romero-González M.E.** The applicability of reflectance micro-Fourier-transform infrared spectroscopy for the detection of synthetic MPs in marine sediments // Sci. Total Environ. 2012. Vol. 416. P. 455–463.
42. **Majewsky M.**, **Bitter H.**, **Eiche E.**, **Horn H.** Determination of microplastic polyethylene (PE) and polypropylene (PP) in environmental samples using thermal analysis (TGA-DSC) // Sci. Total Environ. 2016. Vol. 568. P. 507–511.
43. **Мельник М.И.** Анализ микрочастиц пластиков с помощью лазерной системы визуализации химического состава Agilent 8700 LDIR // Аналитика. 2022. Т. 12. № 1. С. 68–77.
44. **Hildebrandt L.**, **Voigt N.**, **Zimmermann T.** et al. Evaluation of continuous flow centrifugation as an alternative technique to sample microplastic from water bodies // Marine Environmental Research. 2019. Vol. 151. P. 104768.
45. **Domogalla-Urbansky J.**, **Anger P.M.**, **Ferling H.** et al. Raman microspectroscopic identification of microplastic particles in fresh water bivalves (Unio pictorum) exposed to sewage treatment plant effluents under different exposure scenarios // Environmental Science and Pollution Research. 2019. Vol. 26. № 2. P. 2007–2012.
46. **Liu S.** et al. Detection of Various Microplastics in Placentas, Meconium, Infant Feces, Breastmilk and Infant Formula: A Pilot Prospective Study // Sci. Total Environ. 2022. Vol. 13. № 854. P. 158699.

научно-технический журнал

ЛАБоратория и ПРОизводство

ЛЬГОТНАЯ ПОДПИСКА

До 31 декабря 2025 года
в издательстве открыта льготная годовая подписка на печатную версию журнала.
Стоимость – 6320 рублей за комплект.

Всем подписчикам журнала предоставляется 5% скидка на любые рекламные размещения.

ИЗДАНИЕ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ

научное приборостроение, химия, материаловедение, науки о жизни

О ЖУРНАЛЕ

ПЕРИОДИЧНОСТЬ: 6 номеров в год.
ТИРАЖ: 4500 экз.
ОБЪЕМ: 96 полос.

ГЛАВНАЯ ТЕМА: создание и исследование новых веществ и материалов – от фундаментальной науки до промышленных производств. Методы, решения, технологии, инструменты.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: Алексей Константинович Буряк, член-корреспондент РАН, д.х.н., профессор, директор Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН.

КОНТАКТЫ

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: Наталья Василевич, к.х.н., nvasile2003@yahoo.com
НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР: Алла Липеева, к.х.н., mond_05@list.ru
РЕКЛАМА, ПОДПИСКА: Ольга Шахнович, director@labpro-media.ru; rec-tech@mail.ru

ПОДПИСКА ПО КАТАЛОГАМ:

Каталог "Урал-Пресс", подписной индекс: 013680.

labpro-media.ru