



Хлыстов И.А., Бушуева Т.В., Грибова Ю.В., Харьковская П.К., Лабзова А.К.,
Карпова Е.П., Бугаева А.В., Сахаутдинова Р.Р., Гурвич В.Б.

Обнаружение частиц микропластика в водной среде методом окрасивания

ФБУН «Екатеринбургский медицинский—научный центр профилактики и охраны здоровья рабочих промпредприятий»
Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 620014, Екатеринбург,
Россия

Введение. Одним из распространённых контаминантов окружающей среды является микропластик, масштабы загрязнения и вред здоровью от которого стали оцениваться относительно недавно. Установлена биологическая активность микропластика в исследованиях *in vivo* и *in vitro*: он вызывает нарушения развития и функционирования пищеварительной, репродуктивной, центральной нервной, иммунной и кровеносной систем, приводит к дисплазии тканей и органов, обладает генотоксичностью, нейротоксичностью и цитотоксичностью. В связи с этим возникает необходимость мониторинга микропластика в воде со стороны надзорных органов и хозяйствующих субъектов. В России не существует утверждённой методики определения микропластика в воде.

Цель исследования — применение экспресс-метода качественного определения микропластика в воде поверхностных источников и воде централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Материалы и методы. Обнаружение микропластика в воде поверхностных источников и перед подачей в сеть централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения (ЦХПВ) двух городов проводили методом окрасивания красителем нильский красный и последующей идентификацией частиц на фазово-контрастном микроскопе с флуоресцентным фильтром.

Результаты. В воде поверхностных источников и ЦХПВ обнаружены частицы микропластика, установлены их форма и размеры.

Ограничения исследования. Данный метод позволяет оценивать только качественные характеристики частиц микропластика без определения их химического состава; эффективность анализа зависит от разрешающей способности микроскопа.

Заключение. С помощью предложенного метода обнаружены частицы микропластика в воде источников на разных глубинах и перед подачей в сеть ЦХПВ. Частицы округлой и палочковидной формы выявлены в обоих типах вод, а частицы в виде удлинённых нитей — в воде источников.

Ключевые слова: микропластик; идентификация опасности; методы исследования; вода поверхностных источников и ЦХПВ; загрязнения

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Хлыстов И.А., Бушуева Т.В., Грибова Ю.В., Харьковская П.К., Лабзова А.К., Карпова Е.П., Бугаева А.В., Сахаутдинова Р.Р., Гурвич В.Б. Обнаружение частиц микропластика в водной среде методом окрасивания. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(11): 1251–1254. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-11-1251-1254> <https://elibrary.ru/gufozh>

Для корреспонденции: Хлыстов Иван Андреевич, канд. биол. наук, науч. сотр., зав. лаб. гигиены окружающей среды и экологии человека отдела комплексных проблем гигиены и профилактики заболеваний населения ФБУН ЕМНЦ ПОЗРПП Роспотребнадзора. E-mail: hlistovia@umrc.ru

Участие авторов: Хлыстов И.А. — концепция и дизайн исследования, написание и редактирование текста, сбор данных литературы; Бушуева Т.В. — концепция и дизайн исследования, редактирование текста; Грибова Ю.В. — сбор материала и обработка данных; Харьковская П.К. — сбор данных литературы; Лабзова А.К. — сбор материала и обработка данных, редактирование текста; Карпова Е.П. — сбор материала и обработка данных; Бугаева А.В., Сахаутдинова Р.Р. — редактирование текста; Гурвич В.Б. — концепция и дизайн исследования. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 31.08.2023 / Принята к печати: 15.11.2023 / Опубликована: 08.12.2023

Ivan A. Khlystov, Tatiana V. Bushueva, Yulia V. Gribova, Polina K. Kharkova, Alla K. Labzova,
Elizaveta P. Karpova, Alexandra V. Bugayeva, Renata R. Sakhautdinova, Vladimir B. Gurvich

Detection of microplastics particles in the aquatic environment by staining

Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014,
Russian Federation

Introduction. Microplastics are among the most common environmental contaminants worldwide, which levels of pollution and harm to health have begun to be assessed only recently. Biological activity of microplastics has been established in *"in vivo"* and *"in vitro"*: studies: they were found to impair the development and functioning of the digestive, reproductive, central nervous, immune, and circulatory systems, induce tissue and organ dysplasia, be geno-, neuro-, and cytotoxic. The findings necessitate monitoring of microplastics in water by supervisory authorities and business entities. Yet, there is no official method for determining microplastics in the aqueous environment in the Russian Federation.

Our objective was to apply an express method for the qualitative determination of microplastics in surface waters and treated water before supply.

Materials and methods. We analyzed water samples taken from two regional reservoirs and at water treatment plants before supply to the centralized system in two industrial cities of the Sverdlovsk Region by Nile red staining and subsequent identification of microplastics using a phase-contrast fluorescence microscope.

Results. We found microplastics in both surface and treated water samples, and established their shape and size.

Limitations. This method evaluates only qualitative characteristics of microplastics without establishing their chemical composition; the resolution of a microscope determines analytical accuracy.

Conclusions. The applied method has enabled us to find microplastics in surface waters sampled at different depths and in the treated water before supply. Round and rod-shaped particles were observed in both types of water while those in the form of elongated filaments were detected only in surface water samples.

Keywords: microplastics; hazard identification; testing methods; surface water; centralized water supply system; pollution

Compliance with ethical standards. This study does not require the conclusion of a biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Khlystov I.A., Bushueva T.V., Gribova Yu.V., Kharkova P.K., Labzova A.K., Karpova E.P., Bugayeva A.V., Sakhautdinova R.R., Gurvich V.B. Detection of microplastics particles in the aquatic environment by staining. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(11): 1251–1254. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-11-1251-1254> <https://elibrary.ru/gufozh> (in Russian)

For correspondence: Ivan A. Khlystov, MD, PhD, Researcher, Head of the Laboratory of Environmental Hygiene and Human Ecology, Department of Complex Problems of Hygiene and Disease Prevention, Yekaterinburg Medical Research Center for Prophylaxis and Health Protection in Industrial Workers, Yekaterinburg, 620014, Russian Federation. E-mail: hlistovia@ymrc.ru

Information about the authors:

Khlystov I.A., <https://orcid.org/0000-0002-4632-6060>
Gribova Yu.V., <https://orcid.org/0000-0003-1159-6527>
Labzova A.K., <https://orcid.org/0000-0002-8517-2607>
Bugayeva A.V., <https://orcid.org/0000-0002-6562-2842>
Sakhautdinova R.R., <https://orcid.org/0000-0002-2726-9259>

Bushueva T.V., <https://orcid.org/0000-0002-5872-2001>
Kharkova P.K., <https://orcid.org/0000-0001-7927-0246>
Karpova E.P., <https://orcid.org/0000-0003-0125-0063>
Gurvich V.B., <https://orcid.org/0000-0002-6475-7753>

Contribution: Khlystov I.A. – study conception and design, draft manuscript preparation and editing, collection of literature data; Bushueva T.V. – study conception and design, editing; Gribova Yu.V., Karpova E.P. – data collection and processing; Kharkova P.K. – collection of literature data; Labzova A.K. – data collection and processing, editing; Bugayeva A.V., Sakhautdinova R.R. – editing; Gurvich V.B. – study conception and design. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: August 31, 2023 / Accepted: November 15, 2023 / Published: December 8, 2023

Введение

В последние годы увеличивается интерес к проблеме загрязнения окружающей среды микропластиком. Размеры, форма, отношение объёма к поверхности, баланс адгезивных и когезионных взаимодействий на границе частиц с жидкостью определяют кинетику микропластика в водных экосистемах. Небольшой размер микропластика делает этот синтетический материал пригодным для поглощения морской биотой, создавая потенциальную угрозу водным организмам и передвижения вверх по пищевым цепочкам, вплоть до человека [1]. Микропластики обладают высокой токсичностью ввиду их способности вызывать нарушения при проглатывании живыми организмами, а также отравления от продуктов распада и высвобождения сопутствующих загрязняющих пластик веществ, обладающих канцерогенными или эндокриногенными эффектами [2]. В целом можно говорить о наличии системной токсичности микропластика в отношении организма животных и человека, поскольку он вызывает нарушения в развитии и функционировании пищеварительной, эндокринной и репродуктивной систем [3], изменения в экспрессии генов, дисплазию тканей и органов [4]. В то же время выявлены его токсические эффекты в экспериментах с культурами клеток: нейротоксичность и цитотоксичность, способность инициировать воспалительные процессы и окислительный стресс [5–7]. Основными параметрами, предопределяющими гибель клеток, являются форма частиц, продолжительность воздействия и концентрации частиц микропластика [7]. Отмечено, что частицы пластика нанометрового размера игольчатой формы, размером от 500 до 1000 нм, вызывают разрушение клеточных мембран [8]. В организм человека микропластик может попадать через проглатывание воды, пищи, вдыхание пыли.

Наиболее распространёнными методами идентификации частиц пластика являются спектроскопические методы (ИК-спектроскопия и рамановская спектроскопия) или методы термического разложения [9]. Один из способов обнаружения микропластика в объектах окружающей среды заключается в окрашивании образцов неполярным флуоресцирующим красителем нильским красным [10, 11]. В исследованиях [11] установлена способность к флуоресценции некоторых видов полимеров в диапазоне волн 510–560 нм (зелёная часть видимого спектра) после окрашивания данным красителем. Количественное определение частиц микропластика путём окрашивания нильским красным может дифференцировать его от других неорганических или органических (растительный материал) ком-

понентов [10]. Существующие гигиенические нормативы* устанавливают требования к содержанию плавающих примесей в поверхностных водоисточниках. Ввиду опасных свойств микропластика в отношении живых организмов и вероятности поступления его в питьевую воду при подготовке существует необходимость совершенствования методологии его выявления, идентификации и проведения мониторинга.

Цель исследования – применение экспресс-метода качественного определения микропластика в воде поверхностных источников и воде централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения (ЦХПВ).

Материалы и методы

Определён перечень полимерных материалов для идентификации микропластика в воде. Проведён отбор воды из поверхностных питьевых водоисточников – водохранилищ (водохранилища № 1 и № 2), зарегулированных на крупной реке в Свердловской области, а также воды ЦХПВ двух промышленных городов (города 1 и 2). Отбор проводили ежемесячно, в период с марта по май 2023 г. Для окрашивания использовали флуоресцирующий краситель нильский красный в концентрации 10 мг/л, растворённый в н-гексане, аналогично описанному способу [11].

Взятые для исследований образцы воды предварительно взбалтывали для исключения возможного образования осадка. Окрашивание проводили следующим образом: на предметном стекле помещали 40 мкл анализируемой воды и высушивали при комнатной температуре, затем добавляли 40 мкл раствора красителя. Образцы окрашивали в течение 10 мин без доступа солнечного света. Полимерные материалы помещали на предметное стекло и окрашивали аналогичным способом. Идентификацию проводили с помощью светового фазово-контрастного микроскопа «БиОптик» С-400 (Россия) с цифровой камерой и флуоресцентным фильтром для диапазона волн, соответствующему зелёной части видимого спектра (возбуждение при 520–600 нм, эмиссия при 610–680 нм). В микроскопе использовали эквивалентный по мощности галогеновой лампе светодиод мощностью 5 Вт. Диапазон увеличения составлял от 100 до 400 раз. Измерение линейных размеров частиц (ширина и длина) проводили с помощью программного обеспечения к микроскопу – BioImageView, а также программы CorelDRAW X8.

* СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]. Доступ из справ.-правовой системы Техэксперт.

Результаты

В эксперименте по окрашиванию полимерных материалов красителем нильский красный выявлено свечение образцов: HDPE (полиэтилен высокой плотности и низкого давления), PP (полипропилен), ABS (акрилонитрил бутадиен стирол), PETG (полиэтилентерефталат гликоль-модифицированный), PLA (полилактид) и хлопка (рис. 1, см. на вклейке).

Свечение образцов HDPE, PP и хлопка характеризовалось наличием жёлто-оранжевых участков (пятен), ABS был белого цвета, сильно контрастирующего на красном фоне, а в образце PETG выявлены участки ярко-жёлтого и белого цветов. Не выявлена способность к свечению материала PLA (полилактид) в данном диапазоне волн. Красный фон на всех изображениях обусловлен самим красителем.

В воде поверхностных источников на всех глубинах и ЦХПВ обнаружены разные по размеру и форме частицы (рис. 2, 3, см. на вклейке). Частицы в виде удлинённых нитей в основном присутствовали только в воде источников. Однако частицы округлой и палочковидной формы обнаружены в обоих типах вод. Средние линейные размеры (ширина-длина) частиц в воде поверхностных источников составили: округлых – 53,05–58,28 мкм, палочковидных – 45,98–96,17 мкм, частиц в виде удлинённых нитей – 50,84–892,17 мкм. Удлинённые частицы преимущественно присутствовали в верхней и средней глубинах водоёмов, тогда как более мелкие – в нижней.

В воде источников и ЦХПВ выявлены частицы, в которых одновременно присутствуют светящиеся участки и участки с цветом общего красного фона, различные по площади. Но визуальная интенсивность свечения частиц в воде ЦХПВ была более сильной по сравнению с природной водой, при этом частицы были более деформированы. Средние линейные размеры (ширина-длина) частиц в воде ЦХПВ составили: округлых – 65,62–82,15 мкм, палочковидных – 38,47–170,05 мкм.

Обсуждение

Загрязнение окружающей среды пластиком представляет собой сложную проблему из-за многообразия его форм и источников поступления. Загрязнение водной среды обычно начинается с пластикового мусора на берегах рек и до формирования обширных мусорных пятен пластика в открытом океане [12]. Наиболее распространёнными пластиками в поверхностных и грунтовых водах являются полиамид (в 33% случаев), полиэтилентерефталат (15%), каучуки (10%), полиэтилен (10%) и хлорированный полиэтилен (7%) [13]. По способности к флуоресценции выбранных для сравнения образцов пластика становится очевидным, что применённый метод специфичен для обнаружения искусственных и натуральных материалов. Разная интенсивность свечения и цветовые оттенки характеризуют свой вид пластика. Обнаруженные частицы удлинённой формы в воде водохранилищ могут являться фрагментами рыболовной лески, сетей, упаковочных материалов, одежды. Ввиду способности подвергаться разложению в результате воздействия физических, химических и биологических факторов, пластмассы подвергаются фрагментации [14]. Процесс полного разложения пластика занимает длительное время, что в условиях постоянного поступления приводит к накоплению в водоёмах. Обрастание пластика сообществами микроорганизмов увеличивает его плотность и способствует опусканию на дно водоёмов. В зимнее время, в отсутствие роста биомассы, пластик сохраняет отрицательные плавучие свойства [15]. В том или ином водоёме вероятны различия в распределении размеров, форм и количества пластика с глубиной, в зависимости от гидрологических условий, состава поступающих полимерных мате-

риалов, биологической активности. Это может выражаться в увеличении степени деформации частиц, снижении линейных размеров и плавучести, образовании биоплёнок на поверхности микропластика с глубиной. В соответствии с указанными причинами изменения плавучести частицы полимеров выявлены на разных глубинах водохранилищ. Наблюдаемое распределение частиц разной формы по глубинам свидетельствует об их постепенной деформации под действием хемогенных и биогенных факторов. Не полное окрашивание обнаруженных частиц, а именно присутствие ярких флуоресцирующих участков вместе с цветом основного фона может быть обусловлено наличием биоплёнок, препятствующих воздействию данного красителя. Осаждение различных контаминантов на дно является важнейшим механизмом самоочищения водоёмов [16]. Однако микробное воздействие на поверхность микропластика усиливает выщелачивание как веществ, входящих в состав пластика (красителей, наполнителей, пластификаторов, стабилизаторов, антипиренов, бисфенола-А), так и связанных с ним загрязнителей, которые могут высвободиться в воду и стать биодоступными [17]. Установленные в ходе измерений линейные размеры частиц схожи с результатами исследований воды в озере Суншань в Китае. Размер частиц микропластика составлял 180–600 мкм в поверхностной воде и 1000–2000 мкм в отложениях [18]. Согласно приведённым данным [19], обнаруженные в питьевой воде частицы в диапазоне 100–5000 мкм имели форму волокон.

В питьевую воду частицы пластика могут поступать как из применяемых при водоподготовке мембранных фильтров [20] и материалов труб, так и проходить через системы фильтрации в случае их низкой эффективности. В исследовании [13] показано, что некоторые варианты очистки способны удалить большую часть микропластика, и концентрация микропластика размером более 20 мкм в водопроводной воде составляет менее 2 частиц микропластика на литр. Водоподготовка на станциях, откуда отбирали пробы питьевой воды, включает основные этапы: предхлорирование, флокуляция, коагуляция, отстаивание, постхлорирование. В зависимости от сезонных изменений качества исходной воды и специфики работы каждой станции могут применяться: предварительная коагуляция, подщелачивание, постаммонизация, деманганация. Фильтрование является одним из основных методов осветления воды и задержания взвешенных веществ, не осевших в отстойниках. Однако результаты проведённого исследования свидетельствуют о недостаточной эффективности фильтрации воды от частиц микропластика. Ввиду временного присутствия белых и жёлтых оттенков на большинстве изображений частиц в воде можно предположить, что основная часть обнаруженных частиц пластика представляет собой PETG. Установление зависимости между интенсивностью образования биоплёнок с увеличением глубины и изменением флуоресценции частиц будет возможно при проведении дальнейшего мониторинга водоисточников, а вычисление точных размеров частиц в дальнейшем даст информацию о распределении микрочастиц по глубинам водохранилищ и поможет оценить качество водоподготовки.

Заключение

С помощью предложенного экспресс-метода обнаружены частицы микропластика в воде источников и ЦХПВ, определены их морфологические характеристики. Экспресс-метод позволяет проводить оценку качества и безопасности водных объектов, используемых для хозяйственно-питьевых целей. Применение данного метода делает возможным оценить эффективность систем водоподготовки по удалению из воды микропластика.

Литература

(п.п. 1–10, 12–20 см. References)

11. Иванова Е.В., Гузева А.В., Лапенков А.Е., Поздняков Ш.Р., Капустина Л.Л., Митрукова Г.Г. и др. Особенности применения красителя нильский красный для идентификации частиц пластика в природных объектах. *Российский журнал прикладной экологии*. 2020; (4): 36–42. <https://doi.org/10.24411/2411-7374-2020-10032> <https://elibrary.ru/csuqud>

References

- Al Harraq A., Bharti B. Microplastics through the lens of colloid science. *ACS Environ. Au*. 2021; 2(1): 3–10. <https://doi.org/10.1021/acsenvironau.1c00016>
- Donoso J.M., Rios-Touma B. Microplastics in tropical Andean rivers: A perspective from a highly populated Ecuadorian basin without wastewater treatment. *Heliyon*. 2020; 6(7): e04302. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04302>
- Amran N.H., Zaid S.S.M., Mokhtar M.H., Manaf L.A., Othman S. Exposure to microplastics during early developmental stage: Review of current evidence. *Toxics*. 2022; 10(10): 597. <https://doi.org/10.3390/toxics10100597>
- Zhang Y., Wang D., Yin K., Zhao H., Lu H., Meng X., et al. Endoplasmic reticulum stress-controlled autophagic pathway promotes polystyrene microplastics-induced myocardial dysplasia in birds. *Environ. Pollut.* 2022; 311: 119963. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119963>
- Prüst M., Meijer J., Westerink R.H.S. The plastic brain: neurotoxicity of micro- and nanoplastics. *Part. Fibre Toxicol.* 2020; 17(1): 24. <https://doi.org/10.1186/s12989-020-00358-y>
- Caputi S., Diomedea F., Lanuti P., Marconi G.D., Di Carlo P., Sinjari B., et al. Microplastics affect the inflammation pathway in human gingival fibroblasts: A study in the Adriatic Sea. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2022; 19(13): 7782. <https://doi.org/10.3390/ijerph19137782>
- Danopoulos E., Twiddy M., West R., Rotchell J.M. A rapid review and meta-regression analyses of the toxicological impacts of microplastic exposure in human cells. *J. Hazard. Mater.* 2022; 427: 127861. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127861>
- Doshi N., Mitragotri S. Needle-shaped polymeric particles induce transient disruption of cell membranes. *J. R. Soc. Interface*. 2010; 7(Suppl. 4): S403–10. <https://doi.org/10.1098/rsif.2010.0134.focus>
- Schymanski D., Oßmann B.E., Benismail N., Boukerma K., Dallmann G., von der Esch E., 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. *Anal. Bioanal. Chem.* 2021; 413(24): 5969–94. <https://doi.org/10.1007/s00216-021-03498-y>
- Tamminga M., Hengstmann E., Fischer E.K. Nile red staining as a subsidiary method for microplastic quantification: A comparison of three solvents and factors influencing application reliability. *J. Earth Sci. Environ. Stud.* 2017; 2(2). <https://doi.org/10.15436/jeses.2.2.1>
- Ivanova E.V., Guzeva A.V., Lapenkov A.E., Pozdnyakov Sh.R., Kapustina L.L., Mitrakova G.G., et al. The aspects of using Nile red for the detection of plastic particles in environment. *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii*. 2020; (4): 36–42. <https://doi.org/10.24411/2411-7374-2020-10032> <https://elibrary.ru/csuqud>
- Fiore M., Fraterrigo Garofalo S., Migliavacca A., Mansutti A., Fino D., Tommasi T. Tackling marine microplastics pollution: an overview of existing solutions. *Water Air Soil Pollut.* 2022; 233(7): 276. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05715-5>
- Bäuerlein P.S., Hofman-Caris R.C.H.M., Piekie E.N., Ter Laak T.L. Fate of microplastics in the drinking water production. *Water Res.* 2022; 221: 118790. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118790>
- Li Y., Sun Y., Li J., Tang R., Miu Y., Ma X. Research on the influence of microplastics on marine life. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2021; 631: 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/631/1/012006>
- Amaral-Zettler L.A., Zettler E.R., Mincer T.J., Klaassen M.A., Gallager S.M. Biofouling impacts on polyethylene density and sinking in coastal waters: A macro/micro tipping point? *Water Res.* 2021; 201: 117289. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117289>
- Vagnetti R., Miana P., Fabris M., Pavoni B. Self-purification ability of a resurgence stream. *Chemosphere*. 2003; 52(10): 1781–95. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00445-4](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00445-4)
- D'Avignon G., Gregory-Eaves I., Ricciardi A. Microplastics in lakes and rivers: an issue of emerging significance to limnology. *Environ. Rev.* 2022; 30(2): 228–44. <https://doi.org/10.1139/er-2021-0048>
- Tang N., Yu Y., Cai L., Tan X., Zhang L., Huang Y., et al. Distribution characteristics and source analysis of microplastics in urban freshwater lakes: A case study in Songshan Lake of Dongguan, China. *Water*. 2022; 14(7): 1111. <https://doi.org/10.3390/w14071111>
- Singh S., Trushna T., Kalyanasundaram M., Tamhankar A.J., Diwan V. Microplastics in drinking water: a macro issue. *Water Supply*. 2022; 22(5): 5650–74. <https://doi.org/10.2166/ws.2022.189>
- Floros I.N., Kouvelos E.P., Pilatos G.I., Hadjigeorgiou E.P., Gotzias A.D., Favvas E.P., et al. Enhancement of flux performance in PTFE membranes for direct contact membrane distillation. *Polymers (Basel)*. 2020; 12(2): 345. <https://doi.org/10.3390/polym12020345>

К статье И.А. Хлыстова и соавт.
To the article by Ivan A. Khlystov et al.

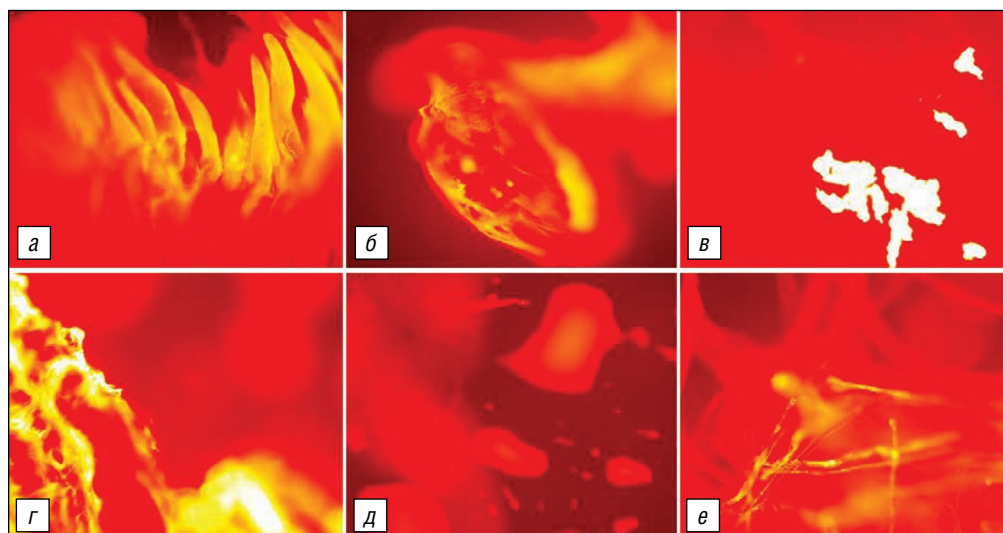


Рис. 1. Окрашивание образцов полимеров с помощью красителя нильский красный (а – HDPE, б – PP, в – ABS, г – PETG, д – PLA, е – хлопок); метод окраски – нильский красный; увеличение $\times 100$.

Fig. 1. Nile red staining of polymer samples (а – HDPE, б – PP, в – ABS, г – PETG, д – PLA, е – cotton); $\times 100$ magnification.

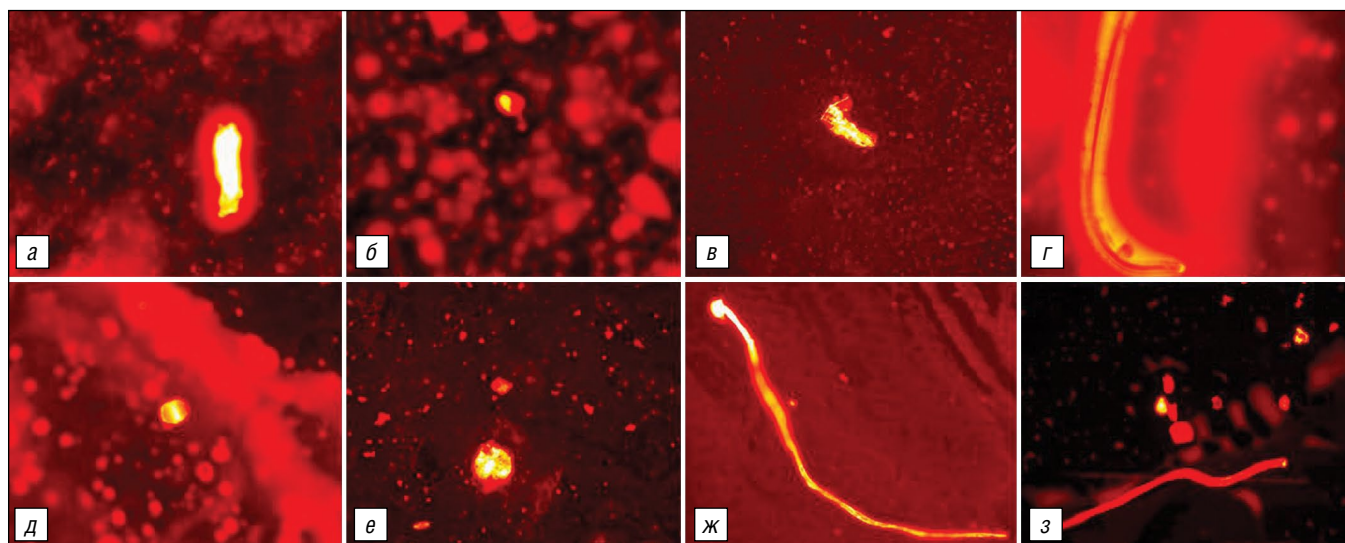


Рис. 2. Результаты определения микропластика в воде поверхностных источников: а – глубина 0,8 м от поверхности водохранилища № 2 (март); б – глубина 1,4 м от поверхности водохранилища № 1 (апрель); в, г – глубина 0,3 м от поверхности водохранилища № 2 (май); д – глубина 0,83 м от поверхности водохранилища № 2 (май); е – глубина 1,35 м от поверхности водохранилища № 2 (май); ж, з – глубина 1,4 м от поверхности водохранилища № 1 (май); метод окраски – нильский красный; увеличение от $\times 100$ до 400.

Fig. 2. Results of determining microplastics in surface water sampled at the depth of: а – 0.8 m in Reservoir 2 (March); б – 1.4 m in Reservoir 1 (April); в, г – 0.3 m in Reservoir 2 (May); д – 0.83 m in Reservoir 2 (May); е – 1.35 m in Reservoir 2 (May); ж, з – 1.4 m in Reservoir 1 (May); Nile red staining; $\times 100$ to 400 magnification.

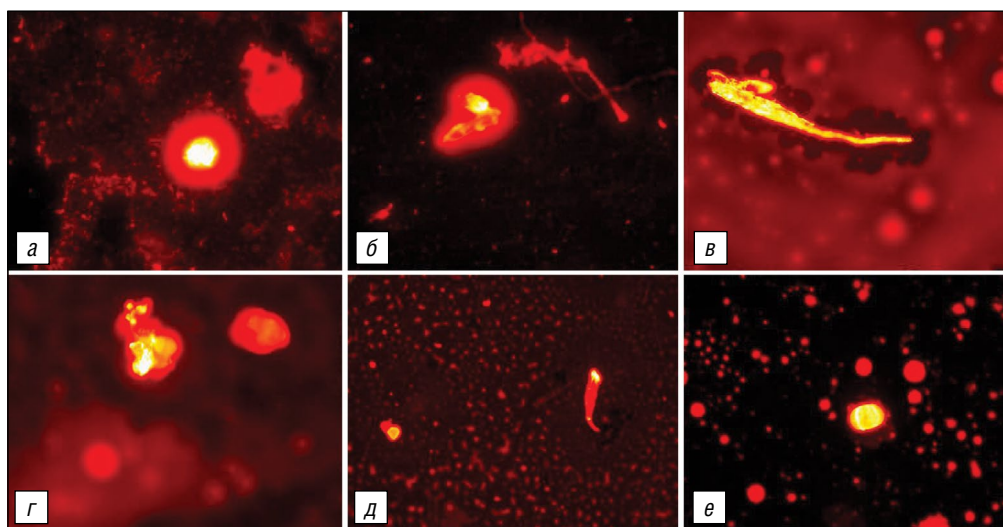


Рис. 3. Результаты определения микропластика в воде ЦХПВ: а, б – перед подачи в город № 2 (март); в – перед подачи в город № 1 (апрель); г, д – перед подачи в город № 2 (май); е – перед подачи в город № 1 (май); метод окраски – нильский красный; увеличение от $\times 100$ до 200.

Fig. 3. Results of determining microplastics in treated water before supply to: а, б – City 2 (March); в – City 1 (April); г, д – City 2 (May); е – City 1 (May); Nile red staining; $\times 100$ to 200 magnification.