

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-2-293-305

EDN: PAMUUU


УДК 504.4.054

Научная статья / Research article

Загрязнение Угличского водохранилища микропластиком: его содержание и распределение в абиотических компонентах водной экосистемы

К.В. Майданов¹, А.Ф. Тарлева¹, Ю.В. Герасимов¹,
Р.Р. Сайфуллин²

¹Институт биологии внутренних вод имени И.Д. Папанина РАН, Борок, Российская Федерация

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Российская Федерация
 maydanovk@mail.ru

Аннотация. Осуществлен анализ загрязнения поверхностного слоя вод и донных отложений (ДО) Угличского водохранилища микропластиком (МП). Впервые проведена оценка содержания пластиковых частиц в ДО данного водоема. Изучена динамика концентраций МП, а также детально охарактеризованы его морфометрические (размер, форма) и колориметрические (цвет) параметры. Результаты, полученные в 2024 г., продемонстрировали повсеместное присутствие МП частиц в исследуемой акватории. Средняя концентрация их в водной толще составила $43,1 \pm 4,8$ ед./м³, в то время как в ДО этот показатель достиг $38,2 \pm 3,8$ ед./кг. Морфологический анализ выявил преобладание волокон в абиотических компонентах экосистемы, в то время как фрагменты встречались реже, а пленки были обнаружены единичные. Цветовая гамма идентифицированного МП отличалась значительным разнообразием, охватывая 10 цветовых категорий. Наиболее часто отмечались частицы серого, синего и красного оттенков.

Ключевые слова: динамика концентраций, волокна, пленки, фрагменты, донные отложения, поверхностный слой воды

Вклад авторов. Майданов К.В. — концептуализация, разработка методологии исследования, проведение исследовательского процесса (эксперимент), статистический анализ полученных данных, подготовка и создание рукописи, визуализация данных. Тарлева А.Ф. — концептуализация, разработка методологии исследования, проведение исследовательского процесса (сбор материала), подготовка и создание рукописи. Герасимов Ю.В., Сайфуллин Р.Р. — редактирование рукописи. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках Государственного задания на 2024–2028 гг. № 124032100075-5, 124032500015-8.

© Майданов К.В., Тарлева А.Ф., Герасимов Ю.В., Сайфуллин Р.Р., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявление о доступности данных. Все данные, полученные в ходе этого исследования, включены в опубликованную статью.

Заявление об использовании технологий искусственного интеллекта. При создании настоящей статьи использовался онлайн-сервис на базе искусственного интеллекта (ChatGPT) для редактирования переведенного на английский язык текста. Авторы заявляют, что полностью осознают и принимают на себя всю полноту ответственности за содержание данной рукописи. Использование инструментов искусственного интеллекта носило вспомогательный характер и не заменяло экспертного суждения, критического мышления и научной добросовестности авторов.

История статьи: поступила в редакцию 08.10.2025; доработана после рецензирования 23.10.2025; принята к публикации 10.02.2026.

Для цитирования: *Майданов К.В., Тарлева А.Ф., Герасимов Ю.В., Сайфуллин Р.Р.* Загрязнение Угличского водохранилища микропластиком: его содержание и распределение в абиотических компонентах водной экосистемы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 2. С. 293–305. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-2-293-305> EDN: PAMUUU

Microplastic pollution of the Uglich Reservoir: its content and distribution in abiotic components of the aquatic ecosystem

Kirill V. Maydanov¹✉, Anastasia F. Tarleva¹ , Yuri V. Gerasimov¹ ,
Rustem R. Saifullin² 

¹*Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences, Borok, Russian Federation*

²*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russian Federation*

✉ maydanovk@mail.ru

Abstract. This study analyzes the pollution of the surface water layer and bottom sediments (BS) of the Uglich Reservoir by microplastics (MP). For the first time, an assessment of the content of plastic particles in the BS of this water body has been conducted. The dynamics of MP concentrations were studied, and their morphometric (size, shape) and colorimetric (color) parameters were characterized in detail. The results obtained in 2024 demonstrated the ubiquitous presence of MP particles in the studied aquatic area. The average concentration in the water column was 43.1 ± 4.8 items/m³, while in the BS this figure reached 38.2 ± 3.8 items/kg. Morphological analysis revealed a predominance of fibers in the abiotic components of the ecosystem, whereas fragments were encountered less frequently, and films were found rarely. The color spectrum of the identified MP displayed significant diversity, encompassing 10 color categories. Particles of grey, blue, and red hues were the most observed.

Keywords: dynamics of concentrations, fibers, films, fragments, bottom sediments, surface water layer

Authors' contribution. *K. V. Maydanov* — conceptualization, development of methodology and design, conducting a research and investigation process (experiment), statistics analysis of obtained data, preparation, creation and presentation of the published work, visualization and data presentation. *A. F. Tarleva* — conceptualization, development of methodology and design, conducting a research and investigation process (material collection), preparation and creation of the published work. *Y. V. Gerasimov, R. R. Saifullin* — editing of the published work. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Funding. The research was conducted as part of the State Assignment for 2024–2028, No. 124032100075-5, 124032500015-8.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Statement on the use of artificial intelligence technologies. Generative artificial intelligence technologies (ChatGPT) were used to edit the English translated text. The authors declare that they fully understand and accept full responsibility for the content of this manuscript. The use of artificial intelligence tools was of a supporting nature and did not replace the authors' expert judgment, critical thinking, or scientific integrity.

Data availability. All data obtained during this study are included in the published article.

Article history: received 08.10.2025; revised 23.10.2025; accepted 10.02.2026.

For citation: Maydanov KV, Tarleva AF, Gerasimov YV, Saifullin RR. Microplastic pollution of the Uglich Reservoir: its content and distribution in abiotic components of the aquatic ecosystem. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(2):293–305. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-2-293-305> EDN: PAMUUU

Введение

Угличское водохранилище, расположенное в центральной части России на реке Волга, является важным звеном в каскаде Волжских водохранилищ. Созданное в 1939 г., оно простирается на 302 км вдоль русла реки, охватывая территории Ярославской и Тверской областей [1]. Водоохранилище выполняет целый ряд важных функций, включая регулирование стока Волги, обеспечение судоходства, гидроэнергетику, а также рекреацию и рыболовство. Площадь водного зеркала составляет 249 км², а полный объем — 1,25 км³ [2].

Однако интенсивное использование водохранилища на протяжении десятилетий привело к ряду экологических проблем, требующих пристального внимания. Одной из наиболее актуальных проблем является загрязнение водной среды, обусловленное как точечными, так и диффузными источниками. Основными загрязнителями выступают промышленные предприятия, сельскохозяйственные угодья и коммунальные стоки, расположенные в бассейне водохранилища [3]. В результате происходит увеличение концентрации органических веществ, биогенных элементов (азот, фосфор), тяжелых металлов и синтетических веществ, что негативно сказывается на качестве воды и состоянии водных экосистем [4].

В последние годы все больше внимания уделяется проблеме загрязнения морских и пресных водоемов микропластиком (МП). Исследования показы-

вают, что МП, попадая в водную среду, может накапливаться в организмах гидробионтов, нарушая их физиологические процессы и представляя угрозу для всей пищевой цепи [5]. Сведения по изучению содержания и распространения МП в бассейне Угличского водохранилища в доступной литературе единичны, поэтому существует острая необходимость активизации проведения научно-исследовательских работ для оценки масштабов загрязнения водоема и разработки мер по его предотвращению.

Цель исследования — оценить пространственное распределение МП в поверхностных слоях воды и ДО Угличского водохранилища, а также провести его количественный и качественный анализ.

Материалы и методы

Станции отбора проб. В сентябре 2024 г. в ходе экспедиционных исследований было получено 19 образцов из двух сред: 15 проб отобрано с поверхностного слоя воды, а 4 — представляли собой ДО. Отбор проб производился с борта научно-исследовательского судна «Академик Топчиев» на 5 станциях, распределение которых охватывает всю акваторию водохранилища. При определении координат станций учитывались такие существенные факторы, как близость к крупным населенным пунктам и расположение устьевых участков притоков рек (табл.).

Характеристика точек отбора проб и районирование бассейна Угличского водохранилища

Шифр точки	Координаты	Крупные притоки	Ближайший населенный пункт	Пробы воды	Пробы ДО
UgR-1	56°47.313' N 37°14.830' E	р. Дубна	г. Дубна (Московская область)	+	+
UgR-2	57°04.189' N 37°31.207' E	р. Медведица	между г. Кимры и г. Калязин (Тверская область)	+	+
UgR-3	57°16.111' N 37°43.375' E	р. Кашинка	г. Калязин	+	+
UgR-4	57°23.339' N 38°6.504' E	р. Турша, р. Пукша	между г. Калязин и г. Углич (Ярославская область)	+	–
UgR-5	57°28.364' N 38°17.049' E	р. Мимoshня, Грехов ручей	г. Углич	+	+

Источник: составлено К.В. Майдановым, А.Ф. Тарлевой.

Сбор материала. Отбор проб выполняли методом трехкратной фильтрации воды объемом 100 л через планктонную сеть с размером фильтрующего отверстия 74 мкм на каждой станции. Пробы ДО массой около 1,5–2,0 кг отбирали с использованием металлического дночерпателя системы Петерсена с известной площадью захвата 1/40 м² (данный показатель использовался для возможности пересчета содержания МП на площадь дна). Полученные образцы незамедлительно переносили в стеклянные емкости с металлическими крышками и консервировали путем криогенного хранения до момента проведения лабораторных исследований [6].

Пробоподготовка, экстракция и методы анализа частиц МП. Процедура лабораторной подготовки проб воды и ДО с последующей сепарацией МП осуществлялась в соответствии с методологическими рекомендациями авторов, включающими четыре последовательных этапа: флотацию, фильтрацию, просеивание и очистку проб от органического материала [7; 8]. Для ДО перед проведением работ определялась сырая масса каждой пробы, после чего каждая проба была высушена при температуре 80–85 °С до достижения воздушно-сухого состояния и использована для последующего исследования на содержание МП. Идентификация микропластиковых частиц осуществлялась визуальным методом с применением световой микроскопии (стереоскопический микроскоп Биомед МС–2 ZOOM), посредством которой определялись количественные показатели и морфологические признаки, включающие тип полимера, цветовую и размерную характеристику. Для описания качественных признаков МП использовалась морфологическая классификация, представленная в монографии [6].

Контроль качества. Нивелирование погрешностей, обусловленных загрязнением реактивов в ходе пробоподготовки, обеспечивалось анализом контрольных растворов, приготовленных на основе дистиллированной воды, в соотношении 1:7 (одна контрольная проба на 7 проб воды). «Холостая» контрольная проба заменялась на дистиллированную воду, прошедшую тонкую фильтрацию, а все дальнейшие этапы пробоподготовки осуществлялись в полном соответствии с процедурами, применяемыми к экспериментальным образцам, и с использованием тех же реактивов. С целью минимизации риска дополнительного загрязнения образцов МП в ходе приготовления реактивов была проведена дополнительная фильтрация дистиллированной воды, выступающей в качестве растворителя, через металлическое сито с размером ячейки 25 мкм. Все реактивы также подвергались фильтрации непосредственно перед их соединением с образцом.

Статистическая обработка. В рамках исследования на основе полученных эмпирических данных были осуществлены вычисления среднего арифметического значения и стандартной ошибки для каждой анализируемой серии проб. Для оценки статистически значимых различий в общем количестве микрочастиц между результатами, полученными в различных сериях, применялся критерий Тьюки. Достоверность результатов математико-статистической обработки устанавливалась на уровне 95 % ($p < 0,05$). Для выполнения статистического анализа было применено специализированное программное обеспечение R v. 4.5.0 [9].

Результаты исследования

Поверхностный слой воды. В результате проведенного исследования во всех проанализированных пробах было установлено наличие микропластиковых частиц. Концентрация МП в водной среде варьировала в диапазоне от

$40,0 \pm 5,1$ ед./м³ (точка UgR–3, расположенная ниже устья р.Кашинка) до $65,6 \pm 8,1$ ед./м³ (точка UgR–5, охватывающая устьевые участки впадающих рек) (рис. 1).

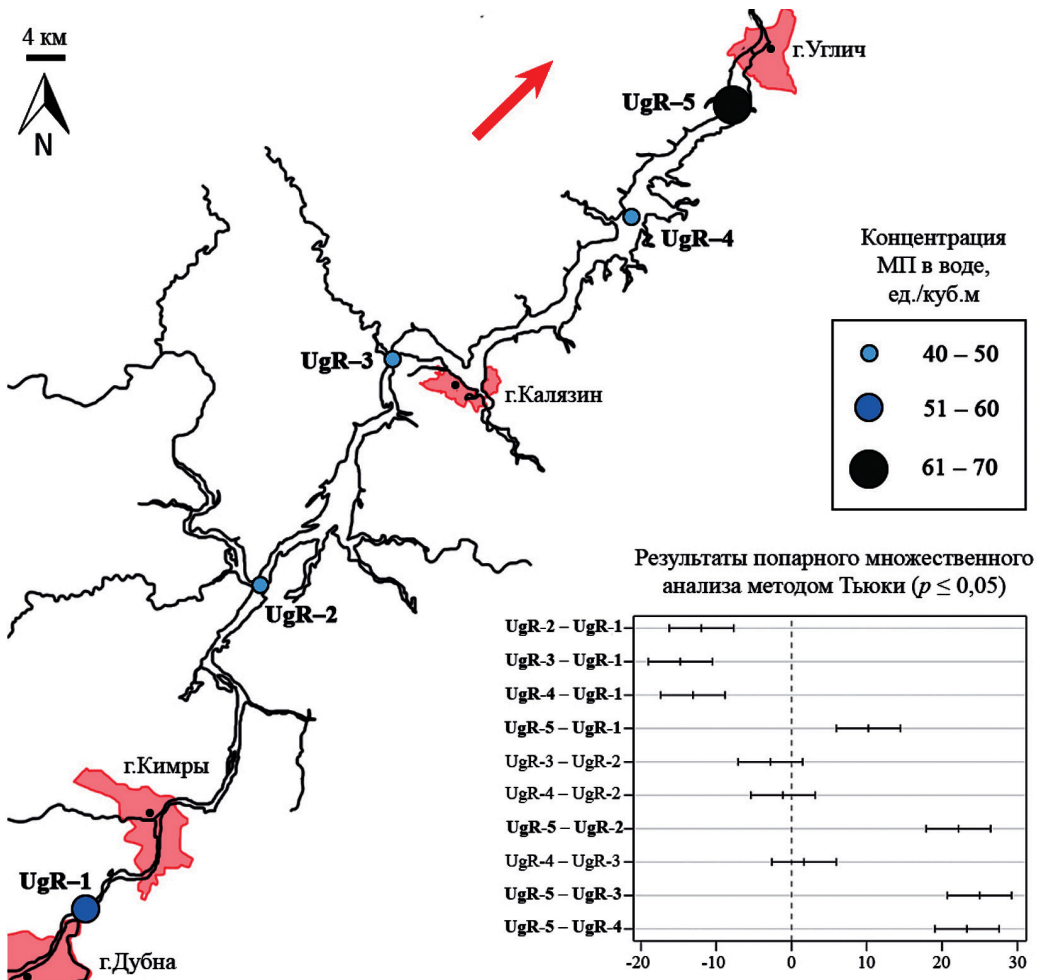


Рис. 1. Содержание частиц МП в воде Угличского водохранилища (ед./м³): кружками черного цвета указаны крупные населенные пункты (красной линией отмечены границы населенных пунктов), красная стрелка соответствует направлению течения р. Волга на данном зарегулированном участке. На графике представлены результаты попарного множественного анализа с применением критерия Тьюки при $p \leq 0,05$.

Источник: составлено К.В. Майдановым.

Минимальные значения содержания МП зафиксированы в среднем течении водохранилища, в частности в районе впадения р. Кашинка, а также на станциях UgR–2 в устье р. Медведица и UgR–4, расположенной ниже устьев рек Турша и Пукша, где плотность частиц составила $43,3 \pm 3,9$ ед./м³ и $42,2 \pm 8,7$ ед./м³ соответственно. Напротив, в верхнем участке водоема наблюдалась следующая картина: в точке UgR–1, расположенной на расстоянии 10 км ниже Ивановской ГЭС, скопление МП была значительно выше относительно выше-

упомянутых станций и достигало $55,6 \pm 4,1$ ед./м³ (*). Наибольшая концентрация микропластиков в водоеме была зарегистрирована в приплотинном плесе водохранилища в точке UgR-5 (*).

В ходе анализа проб, отобранных с поверхности воды, выявлено разнообразие морфологических форм МП (рис. 2). Доминирующим типом частиц, обнаруженных в пробах, являлись волокна, на долю которых приходилось 87,4 % от общего количества идентифицированных частиц. Фрагменты неправильной (угловатой) формы были зарегистрированы лишь на трех станциях (UgR-3, UgR-4, UgR-5) и составляли 10,81 % от общего числа обнаруженных частиц. Пленки, представляющие собой тонкие пластины, были обнаружены только в приплотинной части водохранилища и составляли незначительную долю — 1,8 %.

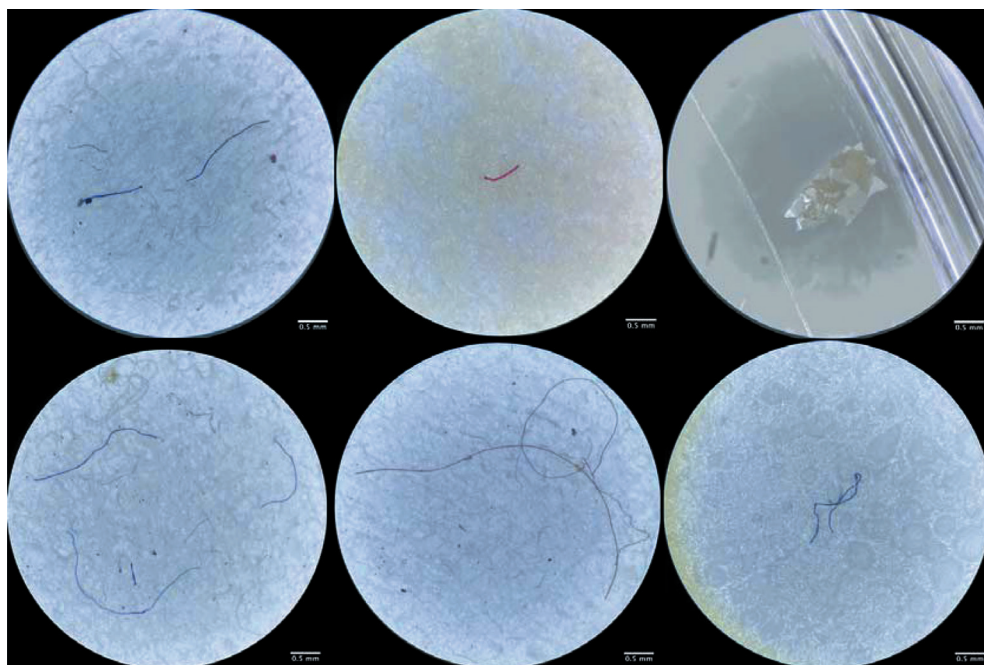


Рис. 2. Частицы МП, обнаруженные в пробах воды из Угличского водохранилища: масштабная линейка на фотографии соответствует значению 0,5 мм.

Источник: фото К.В. Майданова.

Кроме того, был произведен детальный анализ размерных показателей и цветовой гаммы МП. Диапазон размеров пластиковых частиц, зафиксированных во всех точках отбора проб, варьировал в пределах от 0,1 до 4,9 мм, при этом преобладающая часть имела длину менее 2 мм.

Анализ распределения цветов относительно морфологической структуры показал, что среди волокон наиболее часто встречались серые (30,1 %), прозрачные (15,8 %), черные (15,3 %) и синие (14,8 %) частицы. В то же время для фрагментов наиболее характерными являлись зеленый (41,7 %) и синий (29,2 %) цвета (рис. 3).

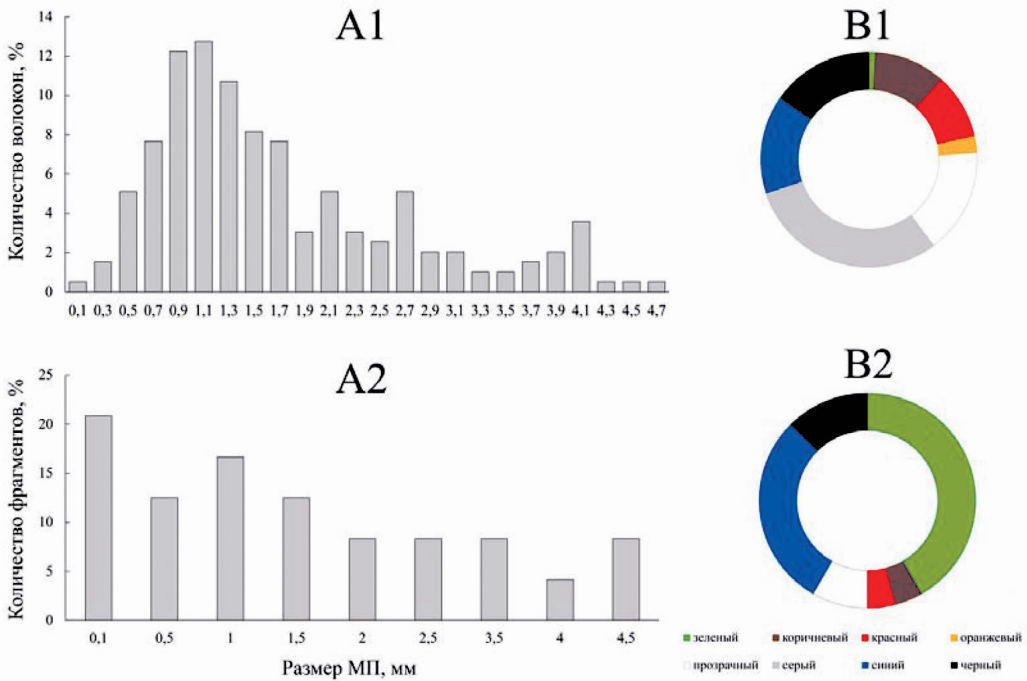


Рис. 3. Процентное содержание в размерном ряду и общее распределение цветов частиц МП из проб воды относительно их морфологической структуры по всем точкам отбора проб:

A1; B1 — волокна и A2; B2 — фрагменты

Источник: составлено К.В. Майдановым.

Донные отложения. В ходе исследования было установлено повсеместное присутствие частиц МП на всех станциях отбора проб. Максимальная их концентрация была зафиксирована в точке UgR–3 — место впадения р. Кашинка в р. Волга — и составила 47,6 ед./кг (400 ед./м² — эквивалентно в пересчете на площадь дна). Тип грунта в данной точке характеризовался как серый песчанистый ил. В пробах с песчаным типом грунта, отобранных на устьевом участке р. Медведица, содержание МП достигало 40 ед./кг (320 ед./м²), а в точке UgR–1, расположенной выше, концентрация составила 29,9 ед./кг (240 ед./м²). Анализ проб, полученных с приплотинной части водохранилища, где грунт представлен серым илом, выявил содержание МП на уровне 35,1 ед./кг, что соответствует 160 ед./м². Таким образом, результаты указывают на наибольшую степень загрязнения ДО в центральной части Угличского водохранилища в зоне перехода грунтов от песчаного типа к серому песчанистому илу.

Анализ морфологической структуры обнаруженных частиц МП выявил доминирование волокон (59,1 %), в свою очередь, фрагменты и пленки составили 27,3 и 13,6 % соответственно. Примечательно, что в точке UgR–5 были обнаружены исключительно волокна, в то время как в других точках отбора проб наблюдалось разнообразие морфологических форм (рис. 4).

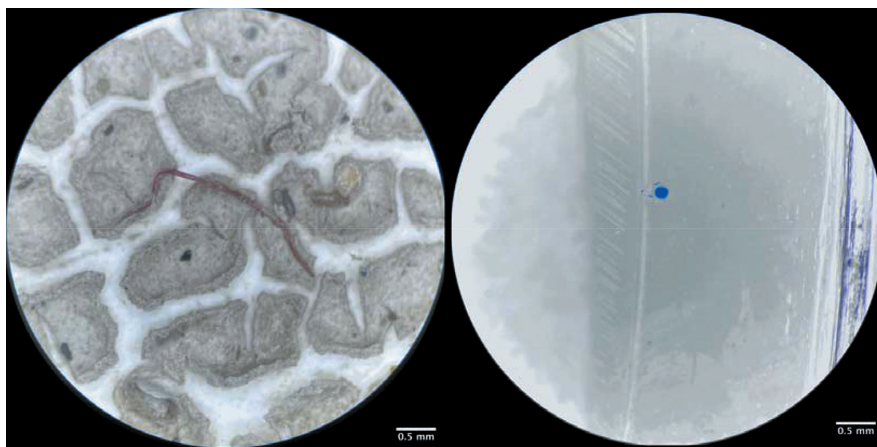


Рис. 4. Частицы МП, обнаруженные в пробах ДО из Угличского водохранилища: масштабная линейка на фотографиях соответствует значению 0,5 мм.

Источник: фото К.В. Майданова.

Оценка размерной характеристики обнаруженного МП показала, что длина частиц варьируются в пределах от 0,7 до 4,9 мм. Наибольшее количество волокон (65,4 %) имело размеры от 1,8 до 3,4 мм, тогда как среди пленок преобладали частицы размером 2,7–2,9 мм (66,7 %). Подавляющее большинство фрагментов (63,4 %) находилось в диапазоне размеров 3,7–4,9 мм.

Анализ цветовой гаммы выявил преобладание синего цвета среди волокон и фрагментов (53,8 и 58,3 % соответственно), в то время как среди пленок наиболее распространенным оказался красный цвет (33,4 %) (рис. 5).

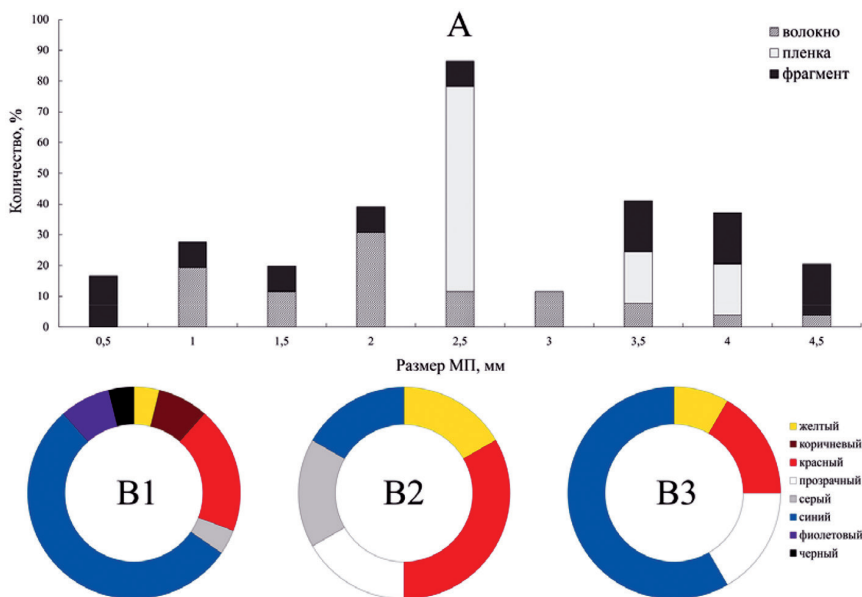


Рис. 5. Процентное содержание в размерном ряду (А) и общее распределение цветов частиц МП из проб ДО относительно их морфологической структуры по всем точкам отбора проб:

В1 — волокна; В2 — пленки; В3 — фрагменты

Источник: составлено К.В. Майдановым.

Обсуждение и результаты

Результаты настоящего исследования показали повсеместное присутствие МП в акватории Угличского водохранилища, зафиксированное как в поверхностном слое воды, так и в ДО. Анализ полученных данных позволил установить среднюю концентрацию МП в воде для Угличского водохранилища на уровне $43,1 \pm 4,8$ ед./м³. Содержание МП в ДО, в свою очередь, оценено в $38,2 \pm 3,8$ ед./кг. Причиной наблюдаемой вариативности концентраций МП на различных станциях отбора проб может быть случайное распределение частиц в водохранилище, обусловленное их физико-химическими характеристиками и зависящее от гидродинамических процессов, протекающих в водоеме, а также механическим составом грунта для ДО.

Сравнительный анализ полученных нами данных о концентрациях МП в абиотических компонентах Угличского водохранилища с ранее опубликованными сведениями указывает на соответствие низкому уровню загрязнения. Так, по результатам глобального исследования проб воды из 168 рек средние концентрации МП достигали 11128 ед./м³, а в ДО 96 рек — 1161 ед./кг [10; 11]. Исследования ученых К(П)ФУ, проведенных на Мешинском заливе Куйбышевского водохранилища в 2021 г., показали, что концентрации МП в воде находились на уровне $20,5 \pm 22,3$ ед./м³, а в илисто-глинистых ДО — $44,7 \pm 41,8$ ед./кг и соответствовали низкому уровню загрязнения [12]. В свою очередь, данные А.А. Ершовой (2023) свидетельствуют о высоком загрязнении рек бассейна р. Волги в районе г. Нижний Новгород: среднее содержание МП в воде составило 600 ед./м³ [13]. По данным исследователей географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, в октябре 2020 г. анализ воды в окрестностях г. Дубна выявил незначительное содержание МП, не превышающее 0,5 ед./м³, при этом максимальное зафиксированное значение составило 0,75 ед./м³. Ниже по течению от г. Дубна наблюдалось увеличение концентрации микропластика в несколько раз, с колебаниями в диапазоне от 0,27 до 0,75 ед./м³. Самое низкое содержание МП зарегистрировано в районе г. Углич и составило 0,215 ед./м³ [14]. Важно подчеркнуть, что расхождение между результатами, полученными в рамках данной работы, и данными, представленными в научном труде, обусловлено различиями в методологии отбора проб и применением отличающегося оборудования. В частности, в [14] использовалась сеть Манта с размером ячеек фильтрующей части 300 мкм, что могло повлиять на селективность отбора частиц МП.

На основании мировой практики исследования частиц МП в качестве наиболее распространенных морфологических типов являются волокна и фрагменты [15]. Результаты морфологического анализа выявили доминирование волоконных частиц МП во всех исследованных пробах, отобранных в 2024 г. в Угличском водохранилище. Обнаружение данного типа МП в высокой концентрации позволяет сделать предположение об источниках поступления

в водоем, связанных с использованием текстильных материалов и искусственных полимеров в их составе, различных рыболовных снастей. Более того, волоконная морфология материала, характеризующаяся удлиненной формой и большой площадью поверхности, благоприятствует адсорбции органических веществ. Этот процесс, в свою очередь, способствует увеличению плотности и последующему осаждению в ДО.

Размеры обнаруженных частиц МП варьировались в широком диапазоне, что, вероятно, обусловлено различными механизмами деструкции полимерных материалов, протекающими в водной среде. В ходе анализа распределения МП по размерам получены следующие средние значения: $1,86 \pm 0,13$ мм в поверхностном слое воды и $2,77 \pm 0,34$ мм в ДО. Сравнительный анализ с данными К(П)ФУ, где размеры МП в воде составили $2,074 \pm 1,885$ мм, а в ДО — $0,145 \pm 0,212$ мм, показал расхождение в размерных характеристиках МП в ДО, что может являться следствием различий в стратификации зон отбора проб: в настоящем исследовании пробы ДО отбирались преимущественно в русловой зоне, в то время как в цитируемой работе отбор проводился в прибрежной части акватории [12].

Цветовая палитра МП характеризовалась значительным разнообразием: выявленные частицы распределялись по 10 цветовым категориям, при этом наиболее часто встречались формы серого, синего и красного цветов. В пробах ДО Азовского моря доминировали прозрачные и черные частицы, составляющие 90 и 7,5 % соответственно, тогда как доля синих, белых, красных, желтых, розовых и фиолетовых частиц была незначительной — около 2 % [16]. Анализ проб ДО озера Байкал выявил присутствие МП 12 цветовых групп. Среди волокон преобладали черные (52,9 %), синие (28,7 %) и зеленые (10,8 %) частицы, тогда как фрагменты преимущественно были белыми (40,4 %), синими (25,3 %) и красными (15,2 %) [17]. Различия в цветовых характеристиках могут служить индикаторами источников поступления МП в водоем, а также отражать возможные механизмы его деградации.

Заключение

В 2024 г. результаты проведенных исследований продемонстрировали повсеместное распространение МП в водной экосистеме Угличского водохранилища, подтверждая его роль в качестве поллютанта абиотических компонентов среды. Отчетливо зафиксировано присутствие полимерных частиц, варьирующихся по морфологическим характеристикам и размерности, как в поверхностных слоях водной толщи, так и в ДО, что свидетельствует о глобальном масштабе контаминации. Загрязнение МП водных экосистем представляет собой значительную проблему, требующую разработки стратегий по снижению негативного воздействия. Результаты данного исследования демонстрируют широкое распространение этого загрязнителя в ДО и водных

массах Угличского водохранилища, способствуя формированию базы данных для мониторинга и регулирования экологического состояния. Эти данные также углубляют понимание масштабов и характеристик загрязнения.

Список литературы

- [1] Ресурсы поверхностных вод СССР. Ленинград : Гидрометеиздат, 1966–. Т. 10 : Верхне-Волжский район. Кн. 1. Т. 10 / сост. Ю. Е. Яблоков, инж. Т. Н. Чижмакова, П. Б. Шехтман [и др.] ; под ред. Ю. Е. Яблокова. 1973. 475 с.
- [2] Водные ресурсы России и их использование = Water resources of Russia and their use : монография / [И. А. Шикломанов и др.] ; под ред. И. А. Шикломанова. Санкт-Петербург : Гос. гидрологический ин-т, 2008. 596 с.
- [3] Крылова И.Н., Томилина И.И. Оценка токсических и мутагенных свойств природной воды и донных отложений водохранилищ Верхней Волги // Биология внутренних вод. 2000. №1. С. 110–117.
- [4] Экологические проблемы Верхней Волги : коллективная монография / Ярославский государственный технический университет / под ред. А. И. Копылова. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2001. 427 с.
- [5] Wright S.L., Kelly F.J. Plastic and human health: a micro issue // *Environmental Science & Technology*. 2017. Vol. 51. Iss. 12. P. 6634–6647. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423>
- [6] Чубаренко И.П., Есюкова Е.Е., Хатмуллина Л.И., Лобчук О.И., Исаченко И.А., Буканова Т.В. Микропластик в морской среде : монография. Москва : Научный мир, 2021. 520 с.
- [7] Masura J., Baker J., Foster G., Arthur C., Herring C. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. Silver Spring : NOAA Marine Debris Division, 2015. 39 p.
- [8] Зобков М.Б., Евсюкова Е.Е. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов // *Океанология*. 2018. Т. 58. № 1. С. 149–157. <https://doi.org/10.7868/S0030157418010148>
- [9] R Core Team. R. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2021. URL: <https://www.R-project.org/> (accessed: 25.09.2025).
- [10] Gallitelli L., Cesarini G., Cera A., Sighicelli M., Lecce F., Menegoni P., Scalici M. Transport and deposition of microplastics and mesoplastics along the river course: a case study of a small river in central Italy // *Hydrology*. 2020. Vol. 7. No. 4. 90. <https://doi.org/10.3390/hydrology7040090> EDN: BOYUZK
- [11] Cera A., Cesarini G., Scalici M. Microplastics in freshwater: what is the news from the world? // *Diversity*. 2020. Vol. 12. No. 7. Article no. 276. <https://doi.org/10.3390/d12070276> EDN: JCWCCE
- [12] Степанова Н.Ю., Шевчук К.А., Кузьмин Л.С., Гайсин А.Р. Микропластик в абиотических и биотических компонентах Мешинского залива Куйбышевского водохранилища (Республика Татарстан) // *Биология внутренних вод*. 2024. Т. 17. № 4. С. 670–676. <https://doi.org/10.31857/S0320965224040157> EDN: YIPKQY
- [13] Ершова А.А., Макеева И.Н., Ясинский С.В. Микропластик в поверхностных и подземных водах крупного города в бассейне р. Волги (на примере Нижнего Новгорода) // *Вопросы географии*. 2023. № 157. С. 402–420. EDN: RADFHN

- [14] *Lisina A.A., Platonov M.M., Lomakov O.I., Sazonov A.A., Shishova T.V., Berkovich A.K., Frolova N.L.* Microplastic abundance in Volga River: results of a pilot study in Summer 2020 // *Geography, Environment, Sustainability*. 2021. Vol. 14. No. 3. P. 82–93. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-041> EDN: QXEMBM
- [15] *Rebelein A., Int-Veen I., Kammann U., Scharsack J.P.* Microplastic fibers — Underestimated threat to aquatic organisms? // *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 777. Article no. 146045. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146045> EDN: hmmvam
- [16] *Глушко А.Е., Беспалова Л.А., Беспалова Е.В., Картамышева Т.Б.* Загрязнение микропластиком донных отложений Азовского моря // *Наука юга России*. 2021. Т. 17. № 2. С. 57–65. EDN: SWEYFE
- [17] *Solodkova A., Biritskaya S., Guligiev A., Rechile D., Ermolaeva Ya., Lavnikova A., Golubets D., Slepchenko A., Kodatenko I., Bashkircev A., Kulbachnaya N., Kondratieva D., Solomka A., Karnaukhov D., Silow E.* Microplastics in sediments of the littoral zone and beach of Lake Baikal // *Limnological Review*. 2025. Vol. 25. No. 4. Article no. 46. <https://doi.org/10.3390/limnolrev25040046> EDN: HNXWUQ

Сведения об авторах:

Майданов Кирилл Викторович, младший научный сотрудник лаборатории экологии рыб, Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Российская Федерация, 152742, Ярославская область, Некоузский р-н, пос. Борок, д. 109. ORCID: 0000-0002-6991-1887; eLIBRARY SPIN-код: 1151-3691. E-mail: maydanovk@mail.ru

Тарлева Анастасия Федоровна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии рыб, Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Российская Федерация, 152742, Ярославская область, Некоузский р-н, пос. Борок, д. 109. ORCID: 0000-0001-5638-6537; eLIBRARY SPIN-код: 3582-1692. E-mail: ns_tarleva@ibiw.ru

Герасимов Юрий Викторович, доктор биологических наук, заместитель директора по научной работе, Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Российская Федерация, 152742, Ярославская область, Некоузский р-н, пос. Борок, д. 109. ORCID: 0000-0003-4515-9771; eLIBRARY SPIN-код: 5735-3506. E-mail: gu@ibiw.ru

Саифуллин Рустем Рашитович, кандидат биологических наук, доцент, Институт фундаментальной медицины и биологии, кафедра биоэкологии, гигиены и общественного здоровья, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Российская Федерация, 420059, Казань, Приволжский р-н, Оренбургский тракт, д. 10. ORCID: 0000-0002-0414-1906; eLIBRARY SPIN-код: 7833-7395. E-mail: saifullin1955@mail.ru