

Оригинальная статья

УДК 504.054(282.247.216)

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2026-2-205-218>

МИКРОРАЗМЕРНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА ИЛЬМЕНЬ

А. П. Педченко ^{1✉}, Я. Ю. Блиновская ², М. П. Плаксина ¹, Г. А. Муратов ³

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
и океанографии (ВНИРО)*

Россия, 105187, г. Москва, Окружной проезд, д. 19

² *Дальневосточный федеральный университет*

Россия, 690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, д. 10

³ *Санкт-Петербургский государственный университет*

Россия, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7–9

Поступила в редакцию 03.11.2025 г., после доработки 05.02.2026 г., принята 05.02.2026 г., опубликована 30.07.2026 г.

Аннотация. Исследования последних десятилетий показали, что микропластиковое загрязнение, наряду с другими факторами антропогенного воздействия, может оказывать негативное влияние на биологическую продуктивность водоемов, в том числе на колебания численности и биомассы промысловых популяций. В связи с актуальностью экологической проблемы в мае 2024 г. на оз. Ильмень впервые была проведена съемка микропластика. Исследование было выполнено на всей акватории озера, с отбором проб поверхностной воды на содержание микропластика сетью Манта (335 мкм). Анализ загрязнителей на 15 станциях выявил в пробах наличие синтетических полимерных частиц органических и неорганических компонентов, а также полусинтетических волокон. Это свидетельствует о микроразмерном загрязнении озера, поскольку обнаруженные загрязняющие материалы, включая волокна, могут представлять потенциальную угрозу как для отдельных видов водных биоресурсов, обитающих в водоеме, так и для его экосистемы в целом. Количественная оценка концентраций микропластика и частиц различной природы в водах оз. Ильмень свидетельствует о незначительном загрязнении микропластиком, не превышающем 0.02 ед./м³. Эти результаты могут быть использованы в качестве фонового (базового) уровня для дальнейших исследований экологических рисков для гидробионтов от воздействия микропластика в Великих озерах северо-запада России, которые имеют промысловое рыбохозяйственное значение, а также на других водоемах Новгородской области.

Ключевые слова: микроразмерное загрязнение, сеть Манта, микропластик, экологический риск, озеро Ильмень

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии по прикладной научной теме № 23 «Оценка загрязнения микропластиком морских и пресноводных экосистем в районах отечественного рыболовства».

✉ Для корреспонденции. Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО).

ORCID и e-mail адреса: Педченко Андрей Петрович: <https://orcid.org/0009-0003-5481-1263>, app3960@yandex.ru; Блиновская Яна Юрьевна: <https://orcid.org/0000-0002-3137-0835>, blinovskaia.iaiu@dvfu.ru; Плаксина Марьяна Петровна: <https://orcid.org/0000-0002-3013-8647>, plaksina@vniro.ru; Муратов Герман Артемович: <https://orcid.org/0009-0006-7727-6066>, geralok@bk.ru

Соблюдение этических норм. В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Педченко А. П., Блиновская Я. Ю., Плаксина М. П., Муратов Г. А. Микроразмерное загрязнение экосистемы озера Ильмень // Поволжский экологический журнал. 2026. № 2. С. 205 – 218. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2026-2-205-218>

ВВЕДЕНИЕ

Экологическая значимость внутренних водных объектов, в том числе озер и водохранилищ, не подлежит сомнению. Без преувеличения можно сказать, что эти категории водоемов формируют уникальные экосистемы, где осуществляется тесное взаимодействие сообществ растений, рыб, микроорганизмов и других представителей флоры и фауны, обеспечивая средообразующие и ресурсообеспечивающие функции. Вместе с тем, озера являются достаточно чувствительными компонентами природной среды, испытывая различные формы антропогенного воздействия, одной из которых является микроразмерное загрязнение. Современные исследования наиболее крупных континентальных водных объектов в разных странах мира показали, что озера и водохранилища имеют значимую роль как ключевые компоненты глобального распространения пластика и его концентрации в озерах различных географических регионов сильно различаются (Nava et al., 2023). Отмечена высокая уязвимость к загрязнению пластиком двух типов озер: (i) озера и водохранилища в густонаселенных и урбанизированных районах; (ii) крупные озера и водохранилища с повышенной площадью осадения, коротким периодом водообмена и высоким уровнем антропогенного воздействия.

В обзоре V. Nava с соавторами не были представлены данные по озеру Ильмень, – одному из крупнейших озер Русской равнины, которое входит в систему Великих озер Европы (Nava et al., 2023). Ильмень – одно из наиболее продуктивных озер Северо-Запада России и является важным хозяйственным объектом для Новгородской области, при этом особое значение имеет рыбный промысел (Smirnova, 1974; Boytsov, Nesvetova, 2017; Boytsov, Pedchenko, 2018). В 1970 – 1980-е гг. здесь добывали до 3.0 – 3.5 тыс. тонн рыбы, т.е. до 25 – 30 кг/га. В последние десятилетия основными объектами промысла являются лещ, синец, щука и судак, которые составляют более 70 – 80% уловов (Vasilyeva, Bondar, 2024).

Озеро Ильмень заметно выделяется среди крупных озер России уровнем режимом, для которого характерны большой коэффициент удельного водосбора (61) и большая амплитуда колебаний, достигающая 650 – 747 см, среднемноголетняя – 314 см (Smirnova, 1974; Boytsov et al., 1997). Размеры и форма озера сильно изменяются вследствие значительных внутригодовых и межгодовых колебаний уровня его вод. Максимальная глубина в разное время года варьирует от 4.4 до 12.7 м, средняя – 2.9 м (Naumenko et al., 2015). Самый высокий уровень воды в озере отмечается с апреля по июнь, с максимумом в мае, и снижается в последующие месяцы. При этом площадь водной поверхности увеличивается на 10 – 15%. В

озеро впадает около 50 рек, наибольший вклад вносят крупные реки: Мста с годовым расходом воды 38% общего поверхностного притока в озеро, Ловать (30%), Пола (13%) и Шелонь (13%) (Prirodnye resursy..., 1984). Весь сток озера разгружается через р. Волхов, которая за год выносит в Ладогу в среднем 17 км³ вод. Химический состав вод и антропогенное загрязнение озера во многом зависит от объема речных стоков, что обусловлено высоким коэффициентом условного водообмена, равного 4.3 (Boytssov et al., 1997).

По мнению экспертов (Environmental Problems..., 2015), экологические проблемы Новгородской области в целом типичны для Северо-Запада России и связаны с высокой долей загрязнения рек промышленными и бытовыми стоками (до 92.5%) в общем объеме сбросов, загрязнением воздуха выхлопными газами в городах, а также с экологически неэффективным обращением с коммунальными и промышленными отходами. Перечисленные факторы антропогенного воздействия и климатические изменения могут оказывать негативное влияние на биологическую продуктивность водоемов, в том числе на колебания численности и биомассы промысловых популяций (Boytssov, Nesvetova, 2017). В настоящее время водные массы оз. Ильмень являются благоприятной средой обитания для водных биоресурсов (Karpustina et al., 2023).

Однако в последние десятилетия во многих странах экологи отмечают новый вид антропогенной нагрузки на экосистемы морей и континентальных водных объектов – микропластиковое загрязнение, регистрируют увеличение количества микропластика (МП) в водных экосистемах и его воздействие на их обитателей на разных трофических уровнях (Frias, Nash, 2019; PAME, 2019; Du et al., 2021). Эта проблема считается важной областью современных экологических исследований (Lusher et al., 2017; Vucci et al., 2020) в связи с повышенной устойчивостью частиц МП к внешним факторам и низкой скоростью их биологического разложения, потенциальной возможностью частиц быть переносчиками органических, токсичных загрязнителей и микроорганизмов, а также их попадания в организм водных биоресурсов (Vethaak, Leslie, 2016; MacLeod et al., 2021).

В связи с актуальностью вышеперечисленных экологических вопросов специалистами ГНЦ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» («ВНИРО») впервые был проведен сбор проб воды на содержание МП на акватории оз. Ильмень в мае 2024 г., что позволило оценить современный уровень микроразмерного загрязнения его вод как среды обитания биоресурсов и источника водоснабжения населения.

Цель исследования – представить количественную оценку микроразмерного загрязнения озера Ильмень на основе данных о распределении, концентрациях и типах частиц в поверхностных водах одного из Великих озер на Северо-Западе России.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Представлен стандартизированный отбор проб на содержание плавающих в поверхностных водах загрязняющих материалов, включая микро- и мезопластик (>250 мкм), выполненный специалистами ФГБНУ «ВНИРО» на 15 станциях в оз. Ильмень 24 – 25 мая 2024 г. (рис. 1).

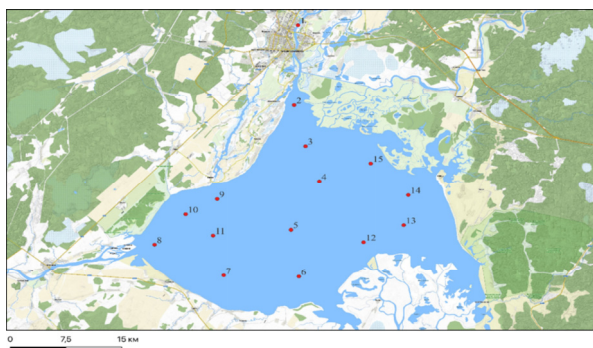


Рис. 1. Схема положения точек отбора проб воды на содержание микропластика в оз. Ильмень в мае 2024 г.

Fig. 1. Scheme of the water sampling points for microplastics content in the Lake Ilmen in May, 2024

постоянной скоростью 2 – 2.5 узла (3.7 – 4.6 км/ч). Продолжительность буксировки на ряде станций была сокращена до 10 мин в связи заполнением сети фитопланктоном и растительностью. Перед подъемом на борт внешнюю часть сети тщательно ополаскивали водой. После подъема на борт содержимое пробы смывали водой на стальное сито ячеей 250 мкм, затем помещали в чистые емкости 0.5 л и фиксировали 4% раствором формалина для подавления активности биоты.

Обработку образцов выполняли в халатах из 100%-ного хлопка без пластиковых волокон аналогично методам, адаптированным к особенностям лабораторной базы ВНИРО (Kolonchin et al., 2023). Эти работы проводили в несколько этапов: плотностное разделение методом флотации, фильтрование, очистка проб от органического материала (с использованием 10% раствора KOH), взвешивание, визуальное определение морфологии образцов (волокна, фрагменты, пленки), в соответствии с рекомендациями (Lusher et al., 2020), их линейных размеров (в мм) и цвета с использованием микроскопии. Химическая идентификация выделенных образцов и определение типа полимера каждой частицы выполнены на базе Межведомственного центра аналитического контроля состояния окружающей среды Дальневосточного федерального университета с использованием ИК-Фурье спектрометра Shimadzu IRTracer-100, оснащенного приставкой нарушенного полного внутреннего отражения горизонтального типа Quest (“Shimadzu Instruments Manufacturing Co., Ltd.”, Япония) в соответствии с методическими подходами Я. Блиновской с соавторами (Blinovskaya et al., 2020). Каждый спектр сравнивался автоматически с несколькими встроенными библиотеками спектральных баз данных (ST Japan Inc., Токуо, Япония), содержащих как синтетические полимеры, так и несинтетические материалы. В качестве порогового значения для типов полимеров при идентификации принимали количество совпадений спектра более 65%. Хлопковые текстильные волокна и органические нити были исключены из анализа.

Оценку микроразмерного и пластикового загрязнения проводили после подсчета количества отдельных микро- и мезопластиковых частиц синтетического и

Пробы были собраны с использованием нейстонной сети Манта с рамкой размером 600×150 мм и ячеей сетного полотна 335 мкм. Фактическую дистанцию траления и объем воды, отфильтрованной через сеть, измеряли с помощью калиброванного расходомера General Oceanic’s 2030R (General Oceanic’s, США), установленного в устье сети. Пробы собирали при буксировке сети на циркуляции маломерного судна в течение 10 – 15 мин с

смешанной природы в каждой пробе на единицу объема (ед./м³), рассчитанного по площади рамки нейстонной сети с учетом дистанции траления, измеренной расходомером. В пробах также определили состав загрязняющих материалов и долю каждого из них. Частицы группировали по морфологическим и морфометрическим признакам, а их размеры по 8 диапазонам: <0.5, 0.5 – 1.0, 1.1 – 2.0, 2.1 – 3.0, 3.1 – 4.0; 4.1 – 5.0, 5.1 – 15.0, >15.0 мм.

Во время отбора проб регистрировали местоположение станций по GPS/GLONASS (Garmin Ltd., США), глубину места, температуру воды. Гидрометеорологические условия в период исследований контролировали по данным измерений на гидропосту дер. Коростынь на юго-западе оз. Ильмень (Summary of measurements..., 2025).

При статистической обработке материала для каждого типа частиц вычисляли среднее арифметическое (M), стандартную ошибку среднего (SE), стандартное отклонение (SD), медиану (Me), минимальное и максимальные значения ($min - max$) и другие характеристики. Доверительные интервалы (95% ДИ) для средних значений рассчитывали при $n \geq 5$.

Статистическую обработку данных осуществляли в программной среде Statistica 10 (StatSoft Inc., США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследования загрязнения вод МП в озере были выполнены в период максимального уровня вод. По данным ФГБУ Северо-Западное УГМС, 13 мая 2024 г. уровень воды составлял 556 см над нулем водомерного поста и к 24 – 25 мая снизился до 536 см, что выше среднего значения за последние 4 года (494 см), и превышал отметку неблагоприятного явления. Температура воздуха в дневные часы изменялась от 16 до 24°C при среднем значении близком к +22°C. Осадки за период работ не наблюдались. С 23 по 25 мая над акваторией работ доминировали ветры южных направлений скоростью не более 3 м/с, порывами в отдельные часы до 5.6 м/с (Summary of measurements..., 2025).

Результаты обработки проб воды, собранных на акватории оз. Ильмень, показали присутствие загрязняющих материалов синтетической и полусинтетической природы на 14 станциях. В составе проб воды они не были выявлены только на одной станции, № 12 (см. рис. 1).

В 14 пробах воды обнаружено 79 частиц загрязняющих материалов. Из этого количества 51 частица (64.6%) были идентифицированы как МП, мезопластик, синтетические и смешанные волокна, 23 частицы (29.1%) – как органика и 5 частиц (6.3%) – как химические/фармацевтические материалы (рис. 2).

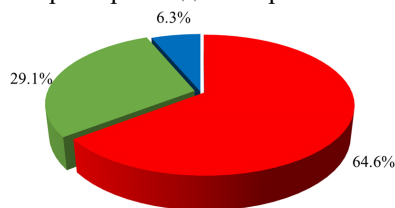


Рис. 2. Химический состав загрязняющих материалов на поверхности оз. Ильмень в 2024 г.: ■ – микропластик, ■ – органические материалы, ■ – химические / фармацевтические материалы

Fig. 2. Chemical composition of polluting particles on the surface of the Lake Ilmen in 2024: ■ – microplastics, ■ – organic materials, ■ – chemical / pharmaceutical materials

При продолжительности траления 15 мин средняя дистанция буксировки сети, вычисленная по расходомеру, составила 816 м, средний объем профильтрованной воды через рамку сети составил 73 м³. Важно отметить, что его величина варьировалась на станциях от 41 до 125 м³. Можно предположить, что на изменение этого показателя повлияли скорость движения маломерного судна, направление ветра и волнения, а также количество фитопланктона и растительности в поверхностном слое озера, которые забивали ячейки сети и создавали дополнительное сопротивление для протока воды через рамку сети. Использование расходомера позволило нормировать концентрации частиц МП с учетом объема расхода воды и получить сопоставимые данные по всей акватории озера (таблица, рис. 3).

Концентрации неорганических материалов, в том числе микропластика, мезопластика и синтетических/полусинтетических волокон в поверхностных водах оз. Ильмень

Table. Quantitative assessment of micro-scale pollution, including micro- and mesoplastics, in the surface waters of the Lake Ilmen

Номер станции / Station number	Координаты / Coordinates		Глубина, м / Depth, m	Время / Time	Объем расхода воды, м ³ / Water consumption, m ³	Концентрация частиц, ед./м ³ / Particle concentration, items/m ³	
	Широта / Latitude, N	Долгота / Longitude, E				всех микрораз- мерных частиц / all micro-sized particles	микропластика, мезо- пластика и волокон / microplastics, meso- plastics and fibers
24.05.2025							
1	58°33.56	31°17.34	8.0	15:15	109	0.046	0.037
2	58°26.64	31°16.81	6.0	16:07	125	0.080	0.072
3	58°23.10	31°18.38	7.5	16:43	98	0.010	0.000
4	58°20.20	31°20.19	6.0	17:16	103	0.019	0.019
5	58°15.80	31°16.38	6.2	17:51	108	0.009	0.000
6	58°11.71	31°17.46	4.7	18:36	66	0.151	0.151
7	58°11.81	31°07.16	5.4	19:22	60	0.017	0.017
8	58°14.51	30°57.68	5.0	19:39	57	0.105	0.105
25.05.2025							
9	58°18.47	31°06.26	5.5	11:19	94	0.021	0.021
10	58°17.14	31°01.95	5.3	11:59	51	0.020	0.020
11	58°15.31	31°05.70	5.7	12:40	43	0.304	0.304
12	58°14.73	31°26.33	4.2	13:21	41	0.000	0.000
13	58°16.19	31°31.82	5.8	13:53	55	0.018	0.018
14	58°18.82	31°32.46	4.2	14:36	47	0.043	0.021
15	58°21.59	31°27.31	4.5	15:22	71	0.028	0.028
Индекс загрязнения / Abundance index						0.058±0.080	0.054±0.081

Полимерные частицы отмечали на 12 станциях, где их встречаемость варьировала от 1 до 13 образцов на пробу. Результаты исследований позволяют говорить о неравномерном распределении МП по акватории озера (см. таблицу), его концентрации варьировались от 0 до 0.304 ед./м³. Наибольшие концентрации МП и мезопластиковых частиц были отмечены в северной (ст. 2) – равные 0.072 ед./м³ и юго-западной части озера, вблизи устьевых участков рек Шелонь, Веряжа (ст. 6, 8 и 11) равные соответственно 0.151, 0.105 и 0.304 ед./м³.

Данные о концентрациях имели ненормальное распределение. Такое распределение характерно для точечных источников загрязнения: на большинстве станций концентрации фоновые, на отдельных – скачкообразно высокие. Ранее отмечалось (Cower et al., 2020), что это типично для данных по концентрациям и размерам МП, и в этих случаях при их анализе следует указывать медиану как более надежный показатель центральной тенденции.

Для микроразмерного загрязнения большинство станций имели низкую концентрацию, и несколько отдельных точек с аномально высокими значениями от 0.150 до 0.304 ед./м³ (см. врезку рис. 3). В этом случае значение среднего и стандартного отклонения 0.054 ± 0.081 ед./м³ не дают реального представления о выборке данных, и более показательны значения медианы 0.021 ед./м³ и межквартильного диапазона 0.063 (0.017 – 0.080), которые на графиках обеспечивают наиболее информативную визуализацию для сравнения групп.

Анализ данных о концентрациях МП показал практически идентичный набор статистик, согласно которым большинство значений выборки также находилось в нижней части диапазона с отдельными экстремальными точками (см. врезку рис. 3). В выборке присутствовало три нулевых значения концентраций. Для такой выборки более показательны значения медианы 0.021 ед./м³ и межквартильный диапазон 0.088 (0.017 – 0.105), чем значение среднего и стандартного отклонения 0.058 ± 0.084 ед./м³.

В 12 пробах воды МП был представлен 5 типами: полиэтилен низкой плотности (LDPE) – 47.1%, целлюлоза (CE) – 25.5%, полипропилен (PP) – 23.5%, полистирол (PS) – 2.0%, ПВХ, содержащий фталатный пластификатор (PVC) – 2.0%. Встречаемость перечисленных типов МП на акватории озера представлена на рис. 4.

МП отмечали в форме фрагментов (64.7%), встречаемость синтетических волокон в LDPE и CE составила 29.4%, которые массово отмечали на станциях в юго-западной части озера, вблизи устьевых участков рек Шелонь, Веряжа, и единично в его северной части (ст. 2) и городской черте Великого Новгорода (ст. 1), а пленки LDPE отмечены единично (5.9%) на станциях 1 и 11.

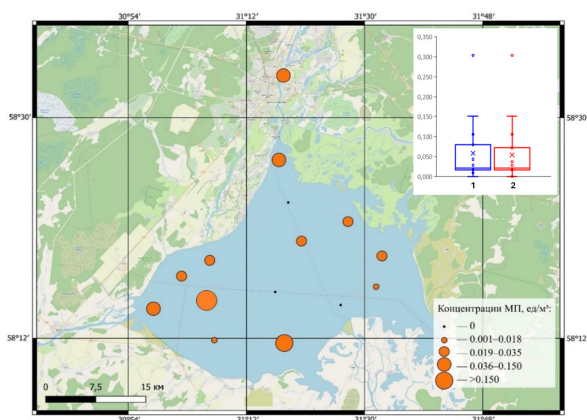


Рис. 3. Концентрация (ед./м³) загрязняющих материалов на поверхности оз. Ильмень в мае 2024 г. Врезка: диаграмма концентраций (ед./м³) всех микроразмерных загрязняющих частиц (1) и микропластика, мезопластика, волокон (2); показаны среднее значение (×), эксклюзивная медиана (линия в прямоугольнике), значения выборки (о)

Fig. 3. Concentration (pcs./m³) of polluting particles on the surface of the Lake Ilmen in May, 2024. Inset: Diagram of concentration (pcs./m³) of all micro-sized pollutants (1), microplastics, mesoplastics and fibers (2); the average value (×), exclusive median (the line in a rectangle), and sample values (o) are shown

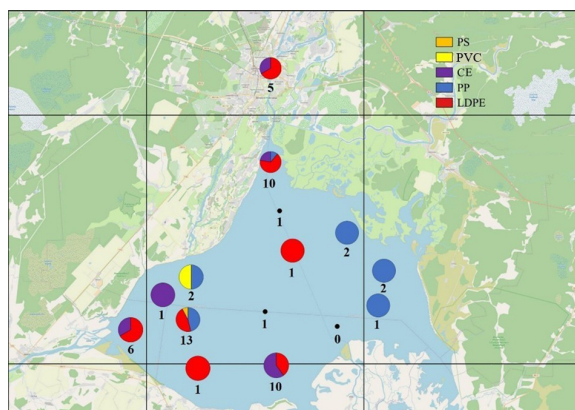


Рис. 4. Встречаемость типов микропластика в воде оз. Ильмень в 2024 г.: PS – полистирол; PVC – ПВХ, содержащий фталатный пластификатор; CE – целлюлоза, PP – полипропилен, LDPE – полиэтилен низкой плотности

Fig. 4. Occurrence of microplastic types on the surface of the Lake Ilmen in 2024: PS – polystyrene; PVC – Polyvinyl chloride with phthalate; CE – cellulose, PP – polypropylene, LDPE – low-density polyethylene бесцветные (18%).

Размеры частиц МП и мезопластика в пробах воды изменялись от 0.8 до 27.5 мм, наибольшая их встречаемость отмечена в диапазоне 1.1 – 2 мм (33.3% от общего количества) (рис. 5). Встречаемость мезопластика составила 16.7% от общего количества. Крупные частицы были представлены LDPE и отмечены в юго-западной части озера на станциях 8 (3 шт.) и 11 (1 шт.), а также PP у юго-восточного берега на станции 13 (1 шт.).

Загрязняющие вещества и полимерные частицы имели разную окраску (рис. 6), однако во всех их формах (фрагменты, волокна, пленка) доминировали частицы черного (27%), белого (18%) цвета и

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В последние годы загрязнение микропластиком стало предметом интереса не только ученых, экологов и общественности, но и представителей государственной исполнительной власти и политиков. Все чаще МП загрязнение, как новый вызов и

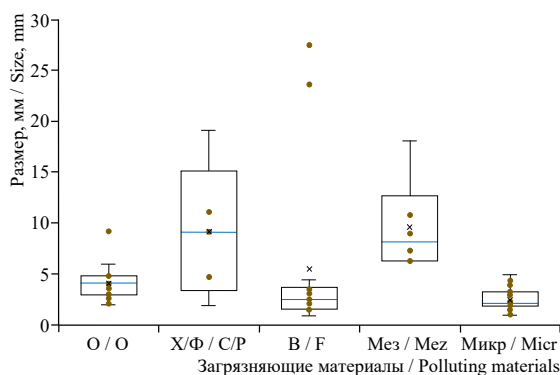


Fig. 5. Microplastic size variation in the surface waters of the Lake Ilmen in 2024: O – organic materials, C/P – chemical/pharmaceutical materials, F – fiber, Mez – mesoplastics, Micr – microplastics; the average value (×), exclusive median (—), and sample values (●) are shown

Рис. 5. Вариация размеров загрязняющих материалов в поверхностных водах оз. Ильмень в 2024 г.: O – органические материалы, X/Ф – химические/фармацевтические материалы, B – волокна, Мез – мезопластик, Микр – микропластик; × – среднее значение, — – эксклюзивная медиана, ● – значения выборки

антропогенное воздействие, рассматривается как серьезная угроза не только для морской среды, но и для пресноводных водоемов, что напрямую связано с жизнью человека.

Актуальность изучения этого типа загрязнения обусловлена ростом объемов производства МП (Plastics, 2023), который значительно обгоняет развитие мероприятий, направленных на управление и смягчение последствий загрязнения биосферы пластиковыми отходами.

Исследования пластикового загрязнения в континентальных водных объектах, выполненные в разных странах, выявили присутствие МП в водах всех обследованных водоемов и значительные различия средних концентраций МП в них. Обзоры исследований, представленные рядом авторов (Malla-Pradhan et al., 2023; Nava et al., 2023), показали, что на протяжении десятилетий специалисты использовали различные, не стандартизированные методы отбора и обработки проб МП, что делает невозможным объективное сравнение результатов. С другой стороны, корректность сравнения показателей загрязнения озер затруднена, поскольку нет единого подхода в представлении данных и концентраций микропластика.

Средние концентрации МП в поверхностных водах оз. Ильмень были значительно ниже аналогичных показателей, полученных с помощью сетей Манта в зарубежных континентальных водных объектах, что позволяет отнести его воды к малозагрязненным. Следует отметить, что они также были самыми низкими по сравнению с таковыми в Ладожском, Онежском и Псковском озерах. По данным Д. А. Тихоновой с соавторами (Tikhonova et al., 2024), средние концентрации МП в прибрежных водах Ладожского озера, полученные с использованием сети Манта 100 мкм, составляют 0.7 ± 0.6 ед/м³. В Онежском озере, по данным исследований Карельского научного центра РАН с использованием сети Манта 174 мкм (устное сообщение А. В. Носова, М. Б. Зобков, М. В. Зобкова, КарНЦ РАН, 2024), средние концентрации микропластика составили 6.6 ± 3.7 ед/м³. В Чудском озере, согласно обзору V. Nava с соавторами (Nava et al., 2023), они были близки к 0.9 ед/м³. Авторы считают более корректным использование медианы, как более надежного показателя центральной тенденции, и межквартильного диапазона выборки при расчёте средних концентраций микропластика и микроразмерного загрязнения.

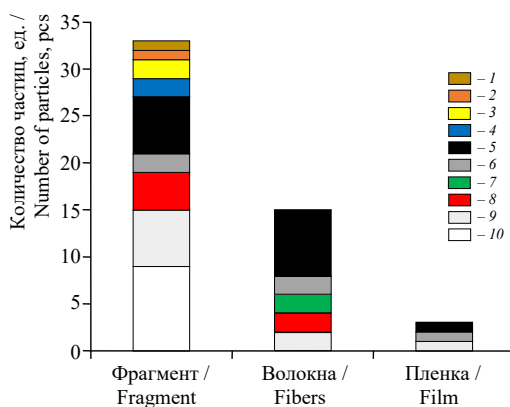


Рис. 6. Окраска частиц полимеров в поверхностных водах оз. Ильмень в 2024 г.: 1 – коричневый, 2 – оранжевый, 3 – желтый, 4 – синий, 5 – черный, 6 – серый, 7 – зеленый, 8 – красный, 9 – бесцветный, 10 – белый

Fig. 6. Polymer particle coloration in the surface waters of the Lake Ilmen in 2024: 1 – brown, 2 – orange, 3 – yellow, 4 – blue, 5 – black, 6 – gray, 7 – green, 8 – red, 9 – colorless, 10 – white

Водосбор оз. Ильмень в несколько раз превышает его площадь. Наибольшие концентрации МП отмечены в юго-западной части озера, в зоне впадения крупных рек Шелонь, Веряжа, по берегам которых расположены дачные массивы и сельскохозяйственные угодья и отсутствуют очистные сооружения. Отмеченная пространственная неоднородность распределения МП и повышение его концентрации на участках устьев впадающих рек подтверждают М. Eriksen с соавторами (Eriksen et al., 2013), что может быть обусловлено аномально высоким уровнем воды. В такие периоды, по мнению S. Piehl с соавторами (Piehl et al., 2018), частицы МП смываются с полей в границах водосборного бассейна в речные системы, что в последующем ведет к загрязнению озера. Следует отметить, что по численности населения г. Великий Новгород не относится к крупным населенным пунктам, соответственно, сток с городских территорий в р. Волхов не столь велик и очистные сооружения успешно снижают загрязнение сточных вод МП, что подтверждают показатели концентраций МП на ст. 1 (см. таблицу).

Озера являются составной частью гидрографической сети, аккумулируют воды и регулируют речной сток. По величине внешнего водообмена, который определяется морфометрическими и климатическими факторами, оз. Ильмень отнесено к классу «сильный» водообмен (Doganovsky, Myakisheva, 2015). Можно предположить, что высокая проточность озера обеспечивает транзитный перенос пластика, поступающего из впадающих в него рек, через воды р. Волхов в Ладожское озеро. Так, на юге Ладоги, в точке отбора проб ближайшей к Волховской губе значения концентрации МП составляло – 1.2 ед/м³ (Tikhonova et al., 2024), что подтверждает наше предположение.

Среди возможных источников поступления МП в воды озера также можно рассматривать рыболовство, транспорт и судоходство, которые оказывают прямое антропогенное воздействие на его экосистему, на что указывали R. Talbot и H. Chang (2022) в своем обзоре. Воздействие этих видов хозяйственной деятельности прослеживается по распределению и концентрациям в воде синтетических волокон PP и LDPE от орудий лова, частиц износа шин, а также загрязняющих материалов, сбрасываемых при эксплуатации транспортных и маломерных судов.

Таким образом, оз. Ильмень в настоящее время является наименее загрязненным в системе Великих озер Северо-Запада России. По нашему мнению, снижению совокупной антропогенной нагрузки на водосборный бассейн озера способствуют большие площади заповедников и умеренная сельскохозяйственная деятельность на территории Новгородской области и сопредельных субъекта РФ.

Вместе с тем, анализ структуры частиц, выделенных из проб поверхностной воды, показал, что они характеризовались весьма разнообразным качественным составом. Помимо пластиковых частиц, зафиксировано большое количество волокон, имеющих разнообразную природу: синтетические, смешанные, натуральные. Также отмечали неорганические компоненты, в том числе фармацевтические материалы, реагенты, углеродсодержащие частицы (цианиды, карбонаты, оксиды) и следы органики (частицы биоты и т.п.). Всё это относится к нетипичным включениям и позволяет говорить не просто о микропластиковом загрязнении, а о микропластиковом загрязнении, имеющем свои особенности. В настоящее время сложно

оценить степень воздействия этих загрязняющих частиц и их возможные негативные последствия, поскольку нет полного понимания их концентрации в природных экосистемах. По мнению авторов, расширение географии исследований распространения таких частиц может быть полезным и позволит получить более объективное представление об их экологическом влиянии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые установлен факт присутствия антропогенных микрочастиц в поверхностных водах оз. Ильмень. Средняя концентрация МП (индекс загрязнения) в поверхностных водах озера не превысила 0.02 ед/м^3 , что значительно ниже аналогичных показателей, полученных с помощью сетей Манта в зарубежных континентальных водных объектах и в озерах Северо-Запада России. Эти оценки могут быть приняты за фоновые (базовые) показатели для организации долгосрочного экологического мониторинга оз. Ильмень и определения изменений антропогенного воздействия на водные биоресурсы и экосистему озера.

Состав микроразмерного загрязнения в воде оз. Ильмень был представлен МП (64.6%), включая мезопластик и волокна, различными органическими материалами (21.9%) и фармацевтическими веществами (6.3%). В пробах воды доминировали 3 типа МП: LDPE (47.1%), SE (25.5%), PP (23.5%). МП отмечали в форме фрагментов (64.7%), волокон (29.4%) и пленок (5.9%). Преобладали оттенки черного (27.0%), белого (18.0%) цвета и бесцветные (18.0%). Можно предположить, что потенциальным источником пластикового загрязнения озера являются сточные воды близлежащих населенных пунктов, которые с речными стоками выносятся в Ильмень. В условиях малых скоростей ветра южных направлений в период исследований загрязнение вод в результате атмосферного переноса частиц МП маловероятно.

Полученные результаты обуславливают необходимость дальнейшего изучения этой озерной системы для понимания механизмов накопления, переноса и трансформации микропластикового и микроразмерного загрязнения, а также его возможного попадания в организмы промысловых рыб с целью разработки программ мониторинга для изучения возможных негативных последствий для их пищевой безопасности.

Благодарности. Авторы выражают благодарность специалистам Новгородского филиала ФГБНУ «ВНИРО», которые принимали участие и оказывали помощь в сборе и обработке полевых материалов. Отдельно высказываем благодарность анонимным рецензентам, ценные замечания и комментарии которых, несомненно, были полезны для представленной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

Blinovskaya Ya., Kulikova O., Mazlova E., Gavrilov M. Microplastic in the Arctic and Russian Far East coastal ground. *Ecology and Industry of Russia*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 16–19 (in Russian) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-4-16-19>

Boitsov V. D., Pedchenko A. P. Hydrological climate of Lake Ilmen in the second half of XX – beginning of XXI centuries. *Proceedings of the II Russian national conference "Hydrome-*

teorology and Ecology: Scientific and Educational Achievements and Perspectives". St. Petersburg, Khimizdat, 2018, pp. 101–104 (in Russian).

Boytsov V. D., Nesvetova G. I. *Usloviya sredi i ulovy ryby v ozere Il'men': izmenchivost', sopryazhennost', prognozirovaniye* [Environmental Conditions and Fish Catches in Lake Ilmen: Variability, Correlation, and Forecasting]. Velikiy Novgorod, Pechatnyy Dvor, 2017. 274 p. (in Russian).

Boytsov A. V., Vasilyev, V. Yu., Gorbovskaya A. D., Dmitriev V. V., Kozlova G. I., Kulesh V. P., Ogurtsov A. N., Sergeev Yu. N., Tretyakov V. Yu. *Ekosistema ozera Il'men' i ego poimy* [The Ecosystem of Lake Ilmen and Its Floodplain]. St. Petersburg, St. Petersburg University Publ., 1997. 247 p. (in Russian).

Bucci K., Tulio M., Rochman C. M. What is known and unknown about the effects of plastic pollution: A meta-analysis and systematic review. *Ecological Applications*, 2020, vol. 30, iss. 2, art. e02044. <https://doi.org/10.1002/eap.2044>

Cowger W., Booth A. M., Hamilton B. M., Thaysen C., Primpke S., Munno K., Lusher A. L., Dehaut A., Vaz V. P., Liboiron M., Devriese L. I., Hermabessiere L., Rochman C., Athey S. N., Lynch J. M., De Frond H., Gray A., Jones O. A. H., Brander S., Steele C., Moore S., Sanchez A., Nel H. Reporting guidelines to increase the re-producibility and comparability of research on microplastics. *Applied Spectroscopy*, 2020, vol. 74, iss. 9, pp. 1066–1077. <https://doi.org/10.1177/0003702820930292>

Doganovsky A. M., Myakisheva N. V. Water balance and external water exchange of lakes of Russia and adjacent territories. *Hydrometeorology and Ecology*, 2015, no. 41, pp. 63–75 (in Russian).

Du S., Zhu R., Cai Y., Xu N., Yap P.-S., Zhang Yu., He Y., Zhang Yo. Environmental fate and impacts of microplastics in aquatic ecosystems: A review. *RSC Advances*, 2021, vol. 11, pp. 15762–15784. <https://doi.org/10.1039/d1ra00880c>

Environmental Problems in Northwest Russia. *Biodiversity Conservation Center*, 2015. 9 p. Available at: https://biodiversity.ru/news/forum/2015/Petrozavodsk_21-22_02_2015.pdf (accessed April 13, 2025) (in Russian).

Eriksen M., Mason S., Wilson S., Box C., Zellers A., Edwards W., Farley H., Amato S. Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*, 2013, vol. 77, iss. 1–2, pp. 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.10.007>

Frias J. P. G. L., Nash R. Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, vol. 138, pp. 145–147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>

Kapustina L. L., Bystrova A. A., Prishchepa A. S., Solov'eva E. S. Current state of bacterioplankton of Lake Ilmen. *Trudy VNIRO*, 2023, vol. 193, pp. 140–151 (in Russian). <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2023-193-140-151>

Kolonchin K. V., Pedchenko A. P., Belyaev V. A. Studies of microplastic content in water and commercial fish: From scientific research to large-scale monitoring. *Trudy VNIRO*, 2023, vol. 193, pp. 162–173 (in Russian). <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2023-193-162-173>

Lakin G. F. *Biometriya: uchebnoe posobie dlya biologicheskikh spetsial'nostei vuzov. 4-e izd., pererab. i dop.* [Biometry: Textbook for Biological Specialties. 4th edition, revised and expanded]. Moscow, Vysshaya Shkola, 1990. 352 p. (in Russian).

Lusher A. L., Hollman P. C. H., Mendoza-Hill J. J. *Microplastics in Fisheries and Aquaculture: Status of Knowledge on Their Occurrence and Implications for Aquatic Organisms and Food Safety*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017. 126 p.

Lusher A., Bråte I. L. N., Munno K., Hurley R. R., Welden N. A. Is it or isn't it: The importance of visual classification in microplastic characterization. *Applied Spectroscopy*, 2020, vol. 74, iss. 9, pp. 1139–1153. <https://doi.org/10.1177/0003702820930733>

- MacLeod M., Arp H. P. H., Tekman M. B., Jahnke A. The global threat from plastic pollution. *Science*, 2021, vol. 373, iss. 6550, pp. 61–65. <https://doi.org/10.1126/science.abg5433>
- Malla-Pradhan R., Pradhan B. L., Phoungthong K., Joshi T. P. Microplastic in freshwater environment: A review on techniques and abundance for microplastic detection in lake water. *Trends in Sciences*, 2023, vol. 20, no. 8, art. 5202. <https://doi.org/10.48048/tis.2023.5202>
- Naumenko M. A., Karetnikov S. G., Guzivaty V. V., Kryuchkov A. M., Pozdnyakov S. R. Lake Ilmen: Determining morphometric characteristics based on a digital model. *Water Resources*, 2015, vol. 42, iss. 5, pp. 572–579. <https://doi.org/10.1134/S0097807815050115>
- Nava V., Chandra S., Aherne J., Alfonso M. B., Antão-Geraldes A. M., Attermeyer K., Bao R., Bartrons M., Berger S. A., Biernaczyk M., Bissen R., Brookes J. D., Brown D., Cañedo-Argüelles M., Canle M., Capelli C., Carballeira R., Cereijo J. L., Chawchai S., Christensen S. T. [et al.]. Plastic debris in lakes and reservoirs. *Nature*, 2023, vol. 619, pp. 317–322. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06168-4>
- PAME, *Desktop Study on Marine Litter Including Microplastics in the Arctic*. Akureyri, PAME International Secretariat, 2019. 114 p.
- Piehl S., Leibner A., Löder M. G., Dris R., Bogner C., Laforsch C. Identification and quantification of macro- and microplastics on an agricultural farmland. *Scientific Reports*, 2018, vol. 8, art. 17950. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36172-y>
- Plastics – the fast facts 2023. *Plastic Europe*. Brussels, 2023. Available at: <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023/> (accessed April 13, 2025).
- Prirodnye resursy bol'shikh ozer SSSR i veroyatnye ikh izmeneniya*. Pod red. O. A. Alekina [Alekin O. A., ed. Natural Resources of the Great Lakes of the USSR and Their Probable Changes]. Leningrad, Nauka, 1984. 286 p. (in Russian).
- Smirnova L. F. Hydrological and hydrochemical regimes of Lake Ilmen. *Izvestiya Gosudarstvennogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ozernogo i rechnogo rybnogo khozyaistva*, 1974, vol. 86, pp. 3–11 (in Russian).
- Summary of measurements at the Korostyn hydrological station on the Ilmen River. *All Rivers.info*, 2025. Available at: <https://allrivers.info/gauge/ilmen-korostyn> (accessed April 13, 2025) (in Russian).
- Talbot R., Chang H. Microplastics in freshwater: A global review of factors affecting spatial and temporal variations. *Environmental Pollution*, 2022, vol. 292, art. 118393. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118393>
- Tikhonova D. A., Shalunova E. P., Karetnikov S. G. Comparing the efficiency of two water sampling methods for studying the content of microplastics in water bodies. *Limnology and Freshwater Biology*, 2024, no. 6, pp. 1434–1453. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2024-A-6-1434>
- Vasilyeva E. S., Bondar R. A. Industrial fishing on Lake Ilmen, Novgorod region: Catch dynamics in the XX century and the current status. *Problems of Fisheries*, 2024, vol. 25, no. 3, pp. 37 – 54 (in Russian). <https://doi.org/10.36038/0234-2774-2024-25-3-37-54>
- Vethaak A., Leslie H. Plastic debris is a human health issue. *Environmental Science and Technology*, 2016, vol. 50, iss. 13, pp. 6825–6826. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02569>

Micro-scale pollution of the Lake Ilmen ecosystem

A. P. Pedchenko ^{1✉}, Ya. Yu. Blinovskaya ², M. P. Plaksina ¹, G. A. Muratov ³

¹ Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO)
19 Okružhnoy proezd, Moscow 105187, Russia

² Far Eastern Federal University
10 Ajax settlement, Russian island, Vladivostok 690922, Russia

³ St. Petersburg State University
7-9 Universitetskaya emb., Saint Petersburg 199034, Russia

Received: November 3, 2025 / revised: February 5, 2026 / accepted: February 5, 2026 / published: July 30, 2026

Abstract: Studies over the last decades have shown that microplastic pollution along with other factors of the anthropogenic impact may have a negative effect on the biological productivity of water bodies, including fluctuations in the numbers and biomass of commercial populations. Due to this ecological problem's relevance, microplastics were first time surveyed on the Lake Ilmen in May, 2024. The study was carried out throughout the lake, and surface water sampling was made for microplastic particles content using a Manta trawl (335 µm). Analysis of pollutants at 15 stations revealed the presence of synthetic polymer particles, organic- and inorganic components, as well as semi-synthetic fibers in the water samples. This is indicative of the lake micro-scaled pollution, as the found contaminants, including fibers, may pose a potential threat both to single species of aquatic bioresources living in the reservoir and to its ecosystem as a whole. Our quantitative assessment of the concentrations of microplastics and particles of various nature in the Lake Ilmen waters indicates negligible microplastic pollution, not exceeding 0.02 pcs/m³. These results can be used as a background (baseline) level for further studies of environmental risk from exposure to microplastics in the Great Lakes of northwestern Russia, which are of commercial fishery importance, as well as in other reservoirs of the Novgorod region.

Keywords: micro-scale pollution, Manta trawl, microplastics, Lake Ilmen

Funding: The work was performed within the framework of the state assignment of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography on applied scientific topic No. 23 "Assessment of Microplastic Pollution of Marine and Freshwater Ecosystems in Areas of Domestic Fisheries".

Ethics approval and consent to participate: This work does not contain any studies involving human and animal subjects.

Competing interests: The authors have declared that no competing interests exist.

For citation: Pedchenko A. P., Blinovskaya Ya. Yu., Plaksina M. P., Muratov G. A. Micro-scale pollution in the Lake Ilmen ecosystem. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2026, no. 2, pp. 205–218 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2026-2-205-218>

✉ *Corresponding author:* Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Russia.

ORCID and e-mail addresses: Andrey P. Pedchenko: <https://orcid.org/0009-0003-5481-1263>, app3960@yandex.ru; Yana Yu. Blinovskaya: <https://orcid.org/0000-0002-3137-0835>, blinovskaia.iaiu@dvfu.ru; Mariana P. Plaksina: <https://orcid.org/0000-0002-3013-8647>, plaksina@vniro.ru; German A. Muratov: <https://orcid.org/0009-0006-7727-6066>, geralok@bk.ru