

Микропластик в воде и проблемы его определения (на примере водных объектов Юга европейской части России)

М. А. Анциферова¹ , А. Е. Глушко², Л. А. Беспалова², А. В. Клещенков¹, А. В. Назаренко¹

¹Южный научный центр Российской академии наук, Российская Федерация
(344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41)

²Южный федеральный университет, институт наук о Земле, Российская Федерация
(344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40)

Аннотация. Цель – оценка содержания микропластика (МП) в Нижнем Дону, Северском Донце, Цимлянском водохранилище, и Нижней Волге, апробирование различных методик отбора проб и идентификации состава частиц.

Материалы и методы. Использовались два метода пробоотбора: полнообъемный в 2021 и 2022 годах и концентрированный в 2023 году. В первом случае отбор производился батометром, размерный диапазон составлял 0,1-5 мм; второй способ отбора заключался в траплении нейстонной сети, нижняя граница соответствовала номиналу ячейки 0,3 мм. Пробоподготовка проводилась по модифицированному методу NOAA, визуальный разбор частиц совершился с помощью микроскопа, состав определялся спектроскопией комбинационного рассеяния и ИК-Фурье спектроскопией, поверхность МП изучалась с помощью СЭМ, рассчитывался уровень опасности полимеров РНІ.

Результаты и обсуждение. Средние концентрации по данным 2021 года составили: в Нижнем Дону – 36 шт./л, в Северском Донце – 38 шт./л, Цимлянском водохранилище – 33 шт./л. В 2022 году в Нижнем Дону обнаружены 21 шт./л, Цимлянском водохранилище 10 шт./л, Нижней Волге 16 шт./л. В 2023 года, при отборе траплением, в водах Нижнего Дона концентрации микропластика составили 94,32 шт./м³, Цимлянского водохранилища – 12,3 шт./м³, в Нижней Волге – 81,06 шт./м³.

Выводы. Характеристики частиц отличаются в зависимости от метода отбора: батометром были охвачены преимущественно прозрачные волокна, размером 0,3 мм, применения сетей дало более высокое разнообразие и крупность. Максимумы концентраций МП в воде зафиксированы около урбанизированных территорий, бьефов гидроузлов, устьев притоков, а также при воздействии плоскостного смыва.

Ключевые слова: микропластик, пластиковый мусор, Рамановская спектроскопия, ИК-Фурье спектроскопия, СЭМ-анализ, полимеры, воды суши, Нижний Дон, Нижняя Волга, Цимлянское водохранилище.

Источник финансирования: Публикация подготовлена в рамках реализации ГЗ ЮНЦ РАН, № гр. проекта 122011900153-9.

Для цитирования: Анциферова М. А., Глушко А. Е., Беспалова Л. А., Клещенков А. В., Назаренко А. В. Микропластик в воде и проблемы его определения (на примере водных объектов Юга европейской части России) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2025, № 1, с. 115-124.
DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/1/115-124>

ВВЕДЕНИЕ

Последние два десятилетия растущую обеспокоенность и активные дискуссии, вызывает проблема микропластика (МП), который считается потенциально опасным вследствие высоких концентраций и химической стойкости. Пластик в природной среде разлагается до естественных соединений в течение сотен лет, причем этот процесс сопровождается выделением опасных веществ [1]. Более интенсивно происходит его фрагментация на мелкие объекты, в том числе микропластик, обнаруживаемый повсеместно во всех природных матрицах [2, 3, 10].

Целью данной работы является изучение загрязнения микропластиком вод суши европейской части России, апробирование различных методик пробоотбора

и идентификации состава. В задачи исследования входило: определение количества частиц в воде, отобранный полнообъемным и концентрированным методом, описание их морфологических и морфометрических характеристик, идентификация состава с помощью Рамановской и ИК-Фурье спектроскопии, определение источников поступления микропластика в водные объекты и особенностей его распределения, установление индекса опасности РНІ; сравнительный анализ результатов исследования с применением различных методик пробоотбора вод и идентификации полимеров.

Содержание микропластика в водных средах изучено достаточно подробно, но большинство работ посвящены морской среде. Так, обширные исследования проводятся в Балтийском море [2, 5], Арктических и



Дальневосточных морях [1, 4, 7], по водам суши работы активно проводятся на Обь-Иртышском бассейне и [11, 15] и озерах центральной России [19].

Методические аспекты также активно изучались упомянутыми исследователями [5]. Для пробоотбора выделяют полнообъемные [12] и концентрированные методы [18]. Первый заключается в отборе проб ведрами или батометрами и применяется редко, из-за малых объемов отобранной воды. Самый распространенный – концентрированный отбор тралением нейстонных сетей. Большое влияние на результат в этом методе оказывают номиналы ячеек, что является его недостатком, так как может приводить к занижению концентраций и вызывает затруднения при сравнении результатов разных исследований.

Для пробоподготовки наиболее часто используемой является методика NOAA [8] и ее модификация [3], идентификация состава пластика обычно осуществляется распространенными физико-химическими методами, такими как пиролиз-газовая хроматография, спектроскопия комбинационного рассеяния (Рамановская), ИК-Фурье спектроскопия.

На сегодняшний день не разработана единая стандартная методика для оценки загрязнения вод микропластиком. Поэтому применение различных методик для этой цели и сравнение полученных результатов остается актуальной темой. Изучение содержания микропластика в крупных водных объектах Юга европейской части России расширяет представление о накоплении и перемещении частиц полимеров в пресноводных средах различного типа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспедиционные работы проводились в летний и летне-осенний меженный период на НИС «Профессор Панов» и «Денеб». В 2021 году они охватывали Цимлянское водохранилище, Нижний Дон, и Северский Донец, в 2022 году в район исследований была включена Нижняя Волга. Маршрут 2023 года повторял предыдущий.

В работе использовалось несколько методик пробоотбора – полнообъемный [12] и концентрированный [18]. В съемках 2021 и 2022 годов применялась полнообъемная методика: пробы воды отбирались батометром и переливались в стеклянные бутылки объемом 1 л. В 2023 году пробы отбирались концентрированием больших объемов воды (800-1000 л) тралением нейстонной сети (размер ячейки 0,3 мм), в полупогружном состоянии, глубина отбора составляла 20 см. Выбор разных методик работы в 2021, 2022 и 2023 годах вызван целью их апробации и сравнения. Методически обусловлена нижняя размерная граница отобранных образцов: от 0,1 мм полнообъемным методом и 0,3 мм концентрированным методом.

Пробоподготовка осуществлялась для материалов всех съемок одинаково по модифицированному методу NOAA [3], который направлен на отделение микрочастиц полимеров от посторонних органических и

минеральных компонентов. В первую очередь, проба фильтруется через мелкочаистый фильтр (номинал 0,1 мм), далее подвергается жидкому окислению в перекиси водорода и плотностном разделению в хлорид цинке. Завершающим этапом является повторная фильтрация и высушивание очищенной пробы.

После завершения обработки фильтр с сухим остатком подвергался визуальной сортировке под оптическим микроскопом (стерео Микромед МС-1 вар.2С Digital с увеличением от 20 до 40), в ходе которой были изучены морфологические (цвет) и морфометрические (форма, размер) характеристики микропластика, а также его количество на каждой станции. Для концентрированного метода фактическое количество частиц было пересчитано на концентрации в штуках на м³. Полнообъемный метод подразумевает измерение в штуках на литр.

Далее микропластик изучался с помощью сканирующей электронной микроскопии (Carl Zeiss EVO) и анализировался на определение типа полимера спектроскопией комбинационного рассеяния (RAMOS S120) и ИК-Фурье спектроскопией (FSM 2202). Спектроскопией комбинационного рассеяния идентифицировано около 30 % проб, отобранных в 2021-2022 годах, при определении их состава ИК-Фурье спектроскопией, возникли трудности, связанные с малым размером частиц. Применением обоих методов удалось установить состав 70 % образцов.

Электронная микроскопия также использовалась для определения состава микропластика, она направлена на установление элементного состава вещества; однако, этот метод не самый подходящий для работы с органическими материалами. Его использование не дает однозначных результатов и может лишь подтвердить или опровергнуть принадлежность частиц к пластикам, в частности, на основании визуальных признаков.

Используя данные, полученные в ходе идентификации состава микропластика, рассчитывался индекс опасности полимеров PHI (Polymer Hazard Index) [9] по следующей формуле:

$$\text{PHI} = \sum Pn \times Sn,$$

где «PHI» – общий индекс опасности полимера, «Pn» – процент конкретных типов обнаруженных полимеров, а Sn – баллы опасности полимерных типов МП согласно классификации [14].

Ранжирование опасности полимеров основано на классификации входящих в состав мономеров, их повторяемости, воздействии на живые организмы. Классификация разрабатывалась для пластика как вещества, но воздействие микрочастиц гораздо сложнее и обусловлено рядом других характеристик: размером, формой, деформированность и пр. Тем не менее, этот критерий часто применяется в современных работах [14, 6, 17] и впервые рассчитан для водных объектов России.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Микропластик обнаружен во всех пробах исследуемых водных объектов (табл. 1).

Таблица 1

Концентрации микропластика в водных объектах Юга европейской части России
по результатам применения различных методов
[Table 1. Microplastic concentrations in water bodies in the South of the European part of Russia
based on the results of using various methods]

Год/ Year	Водные объекты / Water bodies				Метод идентификации / Identification method
	Нижний Дон / Lower Don	Северский Донец / Seversky Donets	Цимляское вдхр. / Tsimlyansk reservoir	Нижняя Волга / Lower Volga	
Полнообъемный метод, концентрации шт./л					
2021	36	38	33	-	Спектроскопия комбинационного рассеяния (Рамановская)
2022	21	-	10	16	
Концентрированный метод, концентрации шт./м ³					
2023	94,32	-	12,3	81,06	ИК-Фурье спектроско- пия, Рамановская спектроскопия

Пространственное распределение частиц представлено на рисунках 1-3.

При сравнении концентраций микропластика в воде, отобранный полнообъемным методом в 2022 году, среднее содержание частиц оказалось ниже, по сравнению с 2021 годом, когда количество частиц во всех объектах оказалось примерно на одном уровне. Несколько влияет различие в сетке станций: в 2021 году была охвачена часть Нижнего Дона от Цимлянского водохранилища до места впадения Северского Донца, а в 2022 году река была изучена до самого устья.

Благодаря разным подходам и ежегодному расширению района исследований получена подробная информация о пространственном распределении микропластика.

Наблюдается прямая зависимость между уровнем загрязнения, антропогенной деятельностью, урбанизацией территории и характеристиками водного объекта. Повсеместно высокое содержание микропластика приурочено к крупным населенным пунктам (Астрахань, Волгоград), бьефам гидроузлов (Константиновский, Цимлянский, Николаевский, Апаринский), устью Дона и местам впадения притоков (Кунрючья, Маныч, Аксай). Последнее вызывает предположение, что притоки более низкого порядка могут быть больше подвержены загрязнению. Также отмечено повышение концентраций в связи с плоскостным смывом на Нижней Волге до 100 шт./м³, при отборе проб во время ливня. Доподлинно утверждать, что высокие концентрации в этой точке связаны с дождевым

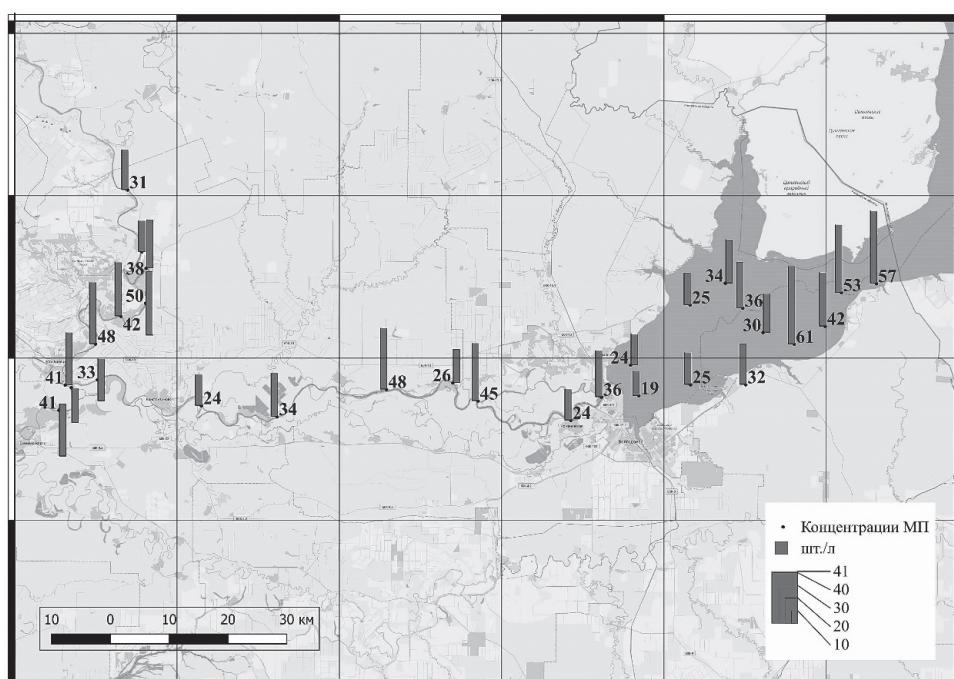


Рис. 1. Средние концентрации МП в шт./л, согласно исследованиям 2021 года
[Fig. 1. Average concentrations MP in pcs. /l, obtained from survey data 2021]

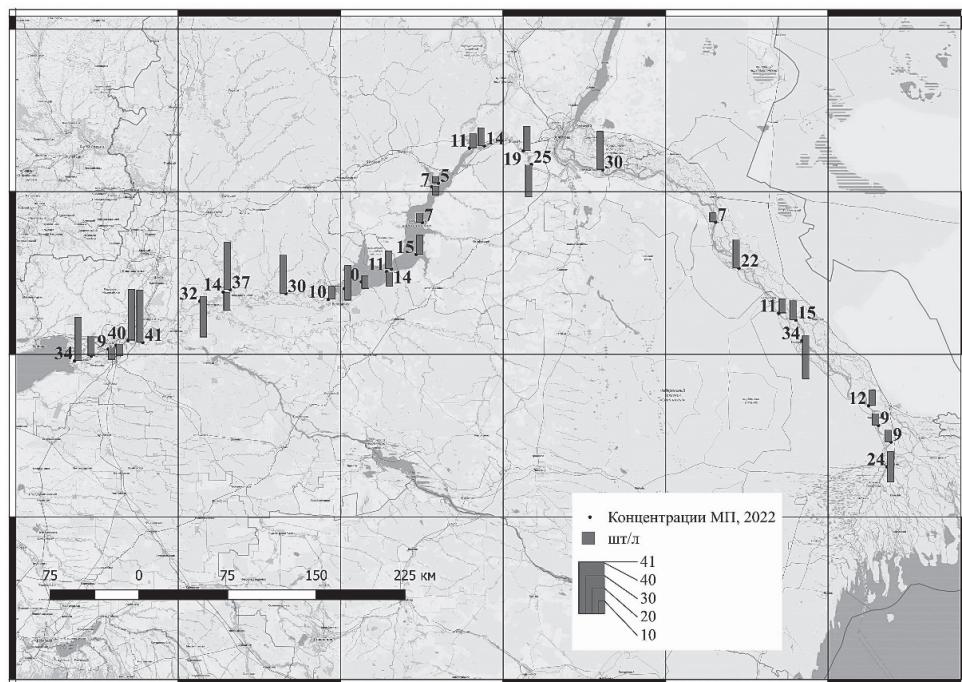


Рис. 2. Средние концентрации МП в шт./л, согласно исследованиям 2022 года
[Fig. 2. Average concentrations of MPs in pcs/l, obtained from the 2022 survey data]

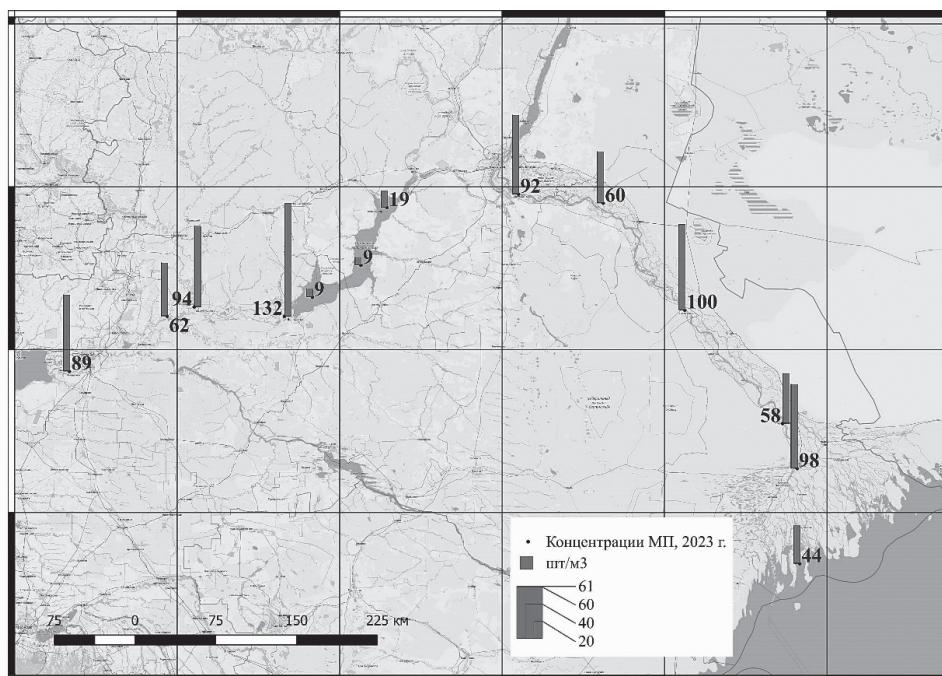


Рис. 3. Средние концентрации МП в шт./м³, согласно исследованиям 2023 года
[Fig. 3. Average concentrations of MPs in pcs/m³, obtained from the 2023 survey data]

стоком нельзя, но подобная взаимосвязь наблюдается в других исследованиях [13].

Отмечено более низкое содержание частиц в водохранилище, по сравнению с реками, в связи с большей площадью рассеяния и оседанием частиц в стоячей воде. Происходящее во время отбора цветение воды может быть причиной обраствания частиц и их последующего утяжеления. Подобные тенденции пространственного распределения наблюдаются во многих ра-

ботах, а уровень концентраций не выходит за пределы общемировых значений [10].

Резкие отличия в концентрациях, наблюдаемые при разных отборах проб, объясняются морфологическими и морфометрическими характеристиками микропластика. По данным первой съемки при исследуемом размерном диапазоне 0,1-5 мм, преобладают образцы 0,3 и 0,5 мм, преимущественно (91 %) прозрачные волокна (табл. 2).

Таблица 2

Морфологические и морфометрические характеристики частиц МП, отобранные полнообъемным и концентрированным методами
 [Table 2. Morphological and morphometric characteristics of MP particles, visible by full-volume and concentrated methods]

Форма / Form	Количество частиц, % / Number of particles, %							
	Методика / methods		размер, мм / size, mm	Методика / methods		Цвет / colour	Методика / methods	
	полно- объемная / full-volume	концентри- рованная / concentrated		полно- объемная / full-volume	концентри- рованная / concentrated		полно- объемная / full-volume	концентри- рованная / concentrated
Волокна	91	66	L<1	84	34	прозрачный	90	38
Фрагменты	3	23	1≤L<2	8	31	белый	<1	10
Пленки	2	9	2≤L<3	4	19	бирюзовый	<1	8
Гранулы	4	2	3≤L<4	2	11	зеленый	<1	10
			L>4	2	5	черный	4	16
						серый	<1	2
						синий	2	5
						розовый	3	12

По данным съемки 2023 года, когда отбор проб выполнялся траплением, при исследуемом размерном диапазоне 0,3-5 мм морфология и морфометрия частиц более разно-

образны. Кроме волокон (66 %) часто встречались фрагменты (23 %), разных цветов. Большинство образцов относятся к размерным группам (L) 0,5-1 и 1-2 мм (табл. 3).

Таблица 3

Среднестатистические значения размеров частиц, отобранных полнообъемным и концентрированным методом
 [Table 3. Average statistical values of particle sizes collected by the full-volume and concentrated methods]

	Полнообъемный метод / full-volume methods		Концентрированный метод / concentrated methods
	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Средний размер (x) / Average size (x)	0,6	0,5	1,7
Мода ряда (Mo) / Mode (Mo)	0,3	0,3	0,5
Медиана (Me) / Median	0,4	0,3	1,2

Таким образом, наблюдаются некоторые выраженные тенденции. Во-первых, чем меньше размер частиц, тем выше их встречаемость в водной среде. Во-вторых, большая часть волокон, и частицы менее 0,3 мм теряются при концентрированном методе, что влияет на разницу в количественных показателях (90 % волокон при полнообъемном отборе и 66 % волокон при концентрированном, см. табл. 2). Относительно морфологических и морфометрических характеристик микропластика результат, полученный траплением, оказался более представительным. Полнообъемная методика не охватывает всего существующего разнообразия частиц, но направлена на учет наиболее мелких.

СЭМ-анализ микропластика показал деформированность его поверхности (трещины, полости и заусенцы), связанную с воздействием окружающей среды (рис. 4). Отчетливо видно, как частицы растрескиваются, волокна раскручиваются, и, таким образом, происходит фрагментация микропластика и переход его в более мелкую форму – нанопластик.

Наблюдаемые неровности и изменения поверхности могут быть, во-первых, индикатором уровня и длительности воздействия условий окружающей среды на частицу, во-вторых, они свидетельствуют об увеличении ее удель-

ной поверхности, что способствует адсорбции различных загрязнителей на поверхности. Как следствие, более деградированный микропластик представляет больший вред, что подтверждено ранее полученными результатами [16].

С помощью изображений, полученных электронным микроскопом, обнаружена высокая вероятность содержания волокон с толщиной 0,01-0,015 мм, 0,02-0,025 мм, 0,03-0,035 мм и около 0,05 мм. Это дополнительно свидетельствует о том, что частицы такого диаметра будут «проскальзывать» через сеть с номиналом ячейки 0,3 мм.

Некоторыми особенностями морфологии, совместно с элементным анализом частиц, было доказано, что не все образцы, визуально идентифицированные как полимеры, таковыми являются. Например, за микропластик были приняты ворсинки перьев и кусочки минерального происхождения.

Применением нескольких различных спектроскопических методов идентифицировано всего около 70 % частиц, таких как микропластик.

Рамановской спектроскопией установлены следующие наиболее распространенные виды пластика: полиэтилен, полипропилен, полистирол, полиамид (нейлон), материалы поливинильных групп (рис. 5).

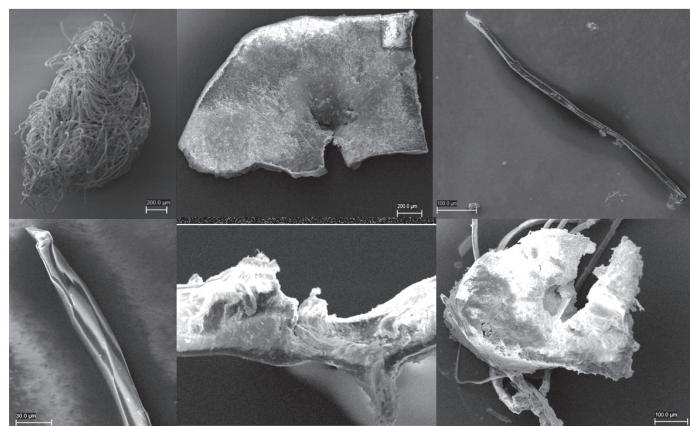


Рис. 4. Изображения поверхности МП, сделанные электронным микроскопом
[Fig. 4. Electron microscope images of the MP surface]

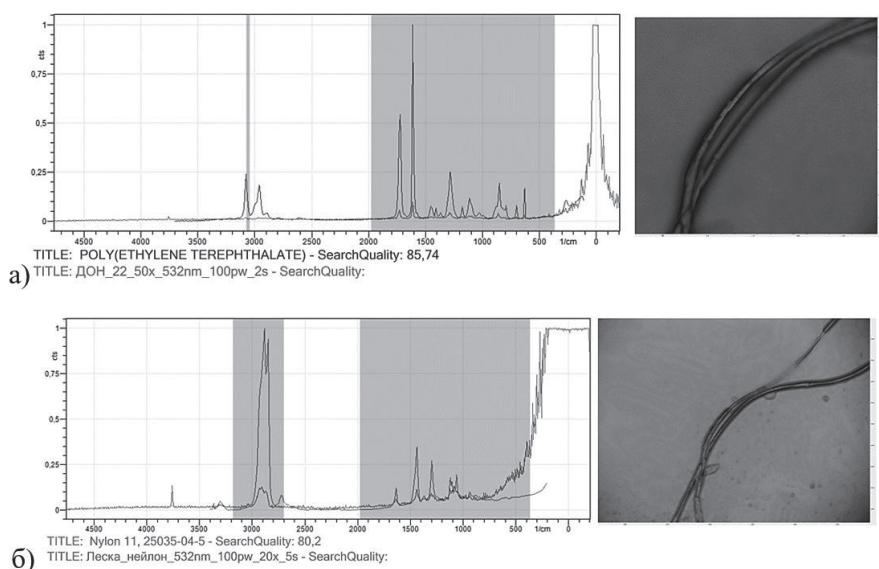


Рис. 5. Рамановские спектры некоторых обнаруженных полимеров и их изображения (а-полиэтилентерфталат, б-нейлон)
[Fig. 5. Raman spectra of some discovered polymers and their images (a-polyethylene terephthalate, b-nylon)]

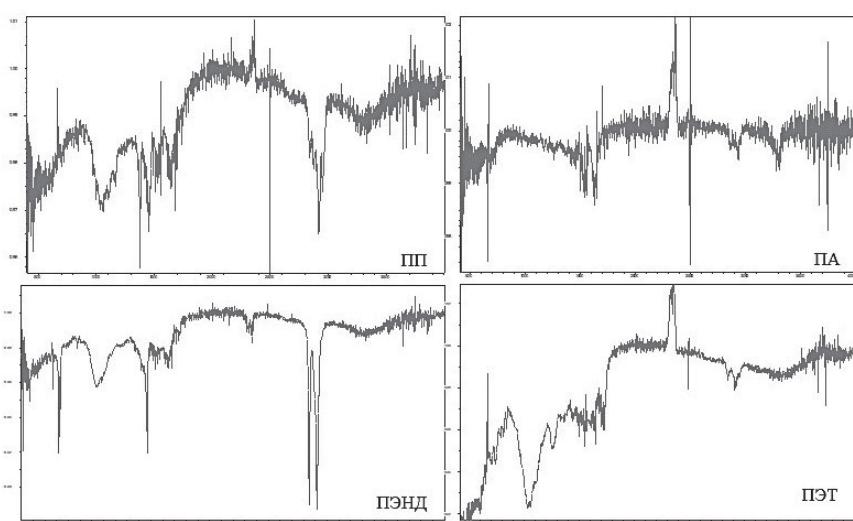


Рис. 6. ИК-спектры пропускания некоторых частиц (ПП – полипропилен, ПА – полиамид, ПЭНД – полиэтилен низкого давления, ПЭТ – полиэтилентерфталат)
[Fig. 6. Infrared transmission spectra of some particles (PP – polypropylene, PA-polyamide, HDPE – low-density polyethylene, PET – polyethylene terephthalate)]

ИК-Фурье спектроскопией идентифицированы полиэтилен (ПЭ), полиэтилентерефталат (ПЭТ), реже – полистирол (ПС), полипропилен (ПП), полиамид (ПА) (рис. 6).

По результатам спектроскопии комбинационного рассеяния (Рамановской) также часто встречался полиэтилвинилацетат (ЭВА) (рис. 7), редко – поливинилмethylовый, политетраметиловый, поливинилбутиловый эфиры; поливинилхлорид (ПВХ), поливинилацетат

(ПВА), полиоксиметилен (ПОМ), полиметилметакрилат (ПММА).

Расчетом РНП выявлено, что большая часть полимеров относится ко 2-му классу опасности (ПЭ, ПЭТФ, ПА, ЭВА, ПС), меньше – 1-му классу опасности (ПП, ПВА), и редко – 5-му классу опасности (ПУ, ПВХ), а полимеры 3-го и 4-го классов опасности отмечены единично (экструдированный ПС, поливинилакрил) (рис. 8).

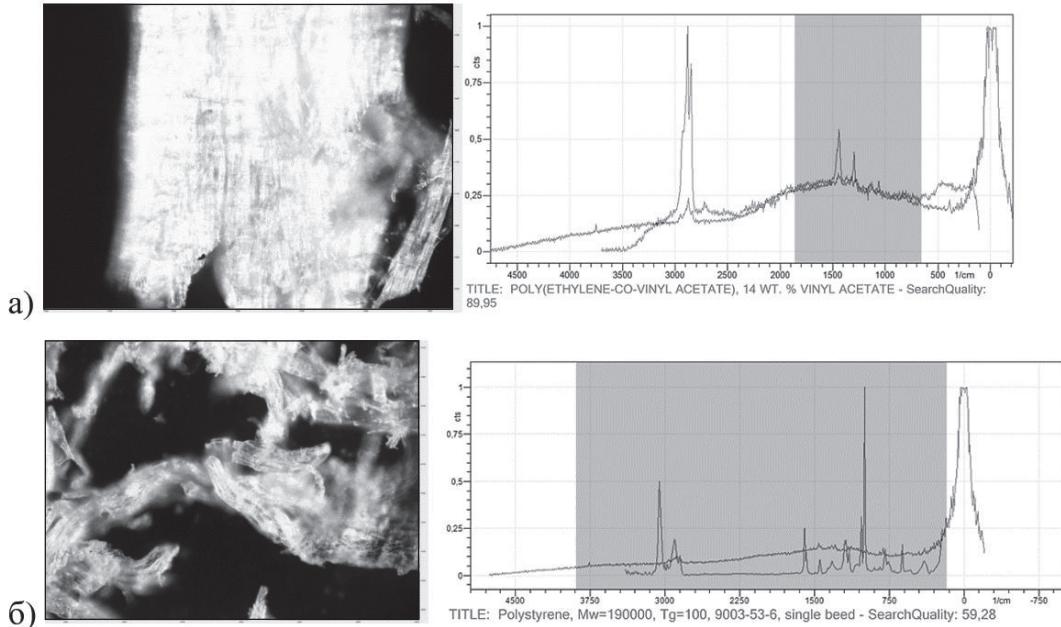


Рис. 7. Рамановские спектры частиц (а – полиэтиленвинилацетат; б – полистирол) [Fig. 7. Raman spectra of some particles (a – polyethylene vinyl acetate; b – polystyrene)]

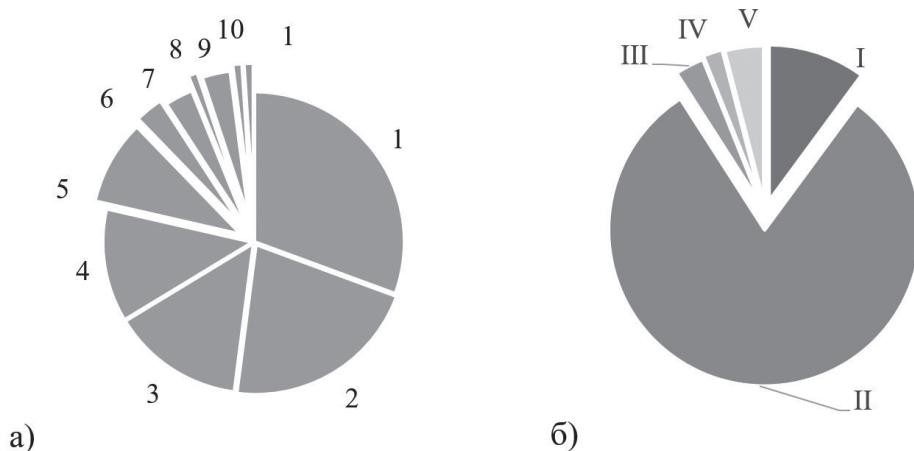


Рис. 8. а – Соотношение полимеров (1 – полиэтилен /30 %/, 2 – полиэтилентерефталат /21 %/, 3 – полиамид /14 %/, 4 – полиэтиленвинилацетат /12 %/, 5 – полипропилен /9 %/, 6 – полистирол /3 %/, 7 – экструдированный пенополистирол /3 %/, 8 – полиуретан /3 %/, 9 – поливинилхлорид /1 %/, 10 – поливиниламид /3 %/); б – Индекс опасности полимеров (1 – низкий /10 %/, 2 – умеренный /80 %/, 3 – средний /3 %/, 4 – повышенный /2 %/, 5 – высокий /4 %/)

[Fig. 8. a – Polymer ratio (1 – polyethylene /30 %/, 2 – polyethylene terephthalate /21 %/, 3 – polyamide /14 %/, 4 – polyethylene vinyl acetate /12 %/, 5 – polypropylene /9 %/, 6 – polystyrene /3 %/, 7 – extruded polystyrene foam /3 %/, 8 – polyurethane /3 %/, 9 – polyvinyl chloride /1 %/, 10 – polyvinylamide /3 %/);

б – Polymer hazard index (1 – low /10 %/, 2 – moderate /80 %/, 3 – average /3 %/, 4 – elevated /2 %/, 5 – high /4 %/)]

Таким образом, микропластик, содержащийся в водах исследуемых объектов, имеет умеренный уровень опасности.

ВЫВОДЫ

Установлены следующие средние концентрации микропластика: в 2021 году в Нижнем Дону – 36 шт./л, Северском Донце – 38 шт./л, Цимлянском водохранилище – 33 шт./л; в 2022 году в Нижнем Дону – 21 шт./л, Цимлянском водохранилище – 10 шт./л, Нижней Волге – 16 шт./л; в 2023 году в Нижнем Дону – 94,32 шт./м³, Цимлянском водохранилище – 12,3 шт./м³, Нижней Волге – 81,06 шт./м³. Большая разница в концентрациях связана с методиками пробоотбора, так как при тралении теряется большая часть волокон, и частицы менее 0,3 мм «проскальзывают» через ячейки сети. Это подтверждается полученными результатами по морфологии и морфометрии микропластика – при полнообъемном отборе преобладают волокна размером 0,3 мм, при концентрированном часто представлены волокна и фрагменты 0,5 и 0,7 мм.

Независимо от способа отбора наблюдаются общие закономерности распределения – максимумы концентраций МП в воде зафиксированы около урбанизированных территорий, бьефов гидроузлов, устьев притоков, а также при воздействии плоскостного смыва. Идентифицированы следующие полимеры: полиэтилен, полиэтилентерефталат, полiamид, полизиленвинилацетат, полипропилен, полистирол, экструдированный пенополистирол, полиуретан, поливинилхлорид, поливиниламид, полиоксиметил, полиметилакрилат. Их уровень опасности относится ко второму классу (умеренный).

Основываясь на полученных результатах, можно сделать предположение, что для отбора проб природных вод более предпочтительным методом является использованиенейстонной сети (сети Манта или аналогичной), так как она обеспечивает большую репрезентативность данных и более разнообразный материал. В целях идентификации МП предпочтительнее проводить анализ двумя независимыми методами – ИК-спектрометрией и Рамановской спектрометрией для минимизации возможных ошибок в определении природы полимеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блиновская Я.Ю., Якименко А.Л. Анализ загрязнения акватории залива Петра Великого (Японского моря) микропластиком // Успехи современного естествознания, 2018, № 1, с. 68-73.
2. Есюкова Е. Е., Чубаренко И. П. Микропластик в водной толще, донных осадках и песках пляжей юго-восточной части Балтийского моря: концентрации, распределение частиц по размерам и формам // Региональная экология, 2019, № 2 (56), с. 16-29.
3. Зобков М.Б., Есюкова Е. Е. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов // Океанология, 2017, т. 58, № 1, с. 149-157
4. Исследование загрязнения микропластиком морей российской Арктики и Дальнего Востока / А. А. Ершова, Т. Р. Еремина, А. Л. Дунаев и др. // Арктика: экология и экономика, 2021, вып. 11, № 2, с. 164-177.
5. Микропластик в морской среде: монография / И. П. Чубаренко, Е. Е. Есюкова, Л. И. Хатмулина и др. Москва: Научный мир, 2021. 520 с.
6. Assessment of potential ecological risk of microplastics in the coastal sediments of India: A meta-analysis / M. Ranjani, S. Veerasingam, R. Venkatachalapathy et al. // Marine Pollution Bulletin, 2021, no. 163, 111969.
7. Combining citizen and conventional science for microplastics monitoring in the White Sea basin (Russian Arctic) / Ershova A., Makeeva I., Malgina E., et al. // Mar. Pollut. Bull., 2021, no. 173, part A, pp. 112955.
8. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in watersand sediments / J. Masura, J. Baker, G. Foster, C. Arthur // NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48, U.S. Department of Commerce, 2015. 31 p.
9. Lithner D., Larsson Å., Dave G. Environmental and health hazard ranking, and assessment of plastic polymers based on chemical composition // Science of The Total Environment, 2011, no. 409 (18), pp. 3309-3324.
10. Microplastics and their possible sources: The example of Ofanto river in southeast Italy / C. Campanale, F. Stock, C. Masiarelli et al. // Environ. Pollut., 2020, no. 258, pp. 113284.
11. Microplastics in fish gut, first records from the Tom River in West Siberia, Russia / Yu.A. Frank, E.D. Vorobiev, I.B. Babkina, et al. // Tomsk State University Journal of Biology, 2020, no. 52, pp. 130-139.
12. Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification / V. Hidalgo-Ruz, L. Gutow, R. C. Thompson, M. Thiel // Environmental Science & Technology, 2012, no. 46, pp. 3060-3075.
13. Microplastics in urban wastewater and estuarine water: Importance of street runoff / M. Sugiura, H. Takada, N. Takada et al. // Environmental Monitoring and Contaminants Research, 2021, no. 1, pp. 54-65.
14. Microplastic risk assessment in surface waters: A case study in the Changjiang Estuary, China / P. Xu, G. Peng, L. Su, et al. // Marine Pollution Bulletin, 2018, no. 133, pp. 647-654.
15. Pollution of Beach Sands of the Ob River (Western Siberia) with Microplastics and Persistent Organic Pollutants / Yu.A. Frank, Yu.S. Sotnikova, V.Yu. Tsygankov, et al. // Journal of Xenobiotics, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 989-1002.
16. Screening of Microplastics in Aquaculture Systems (Fish, Mussel, and Water Samples) by FTIR, Scanning Electron Microscopy–Energy Dispersive Spectroscopy and Micro-Raman Spectroscopies / K. Miserli, Ch. Lykos, A. G. Kalampounias, I. Konstantinou // Applied Sciences (Switzerland), 2023, no. 17, pp. 9705.
17. Soursou V., Campo Ju., Pico Y. Spatio-temporal variation and ecological risk assessment of microplastics along the touristic beaches of a mediterranean coast transect (Valencia province, East Spain) // Journal of Environmental Management, 2024, no. 354, pp. 120315.
18. Wang W., Wang J. Investigation of microplastics in aquatic environments: An overview of the methods used, from field sampling to laboratory analysis // TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2018, no. 108, p. 195-202.
19. Zobkov M. B., Efremova T. A. Concentrations in Bottom Sediments of the Lakes of Specially Protected Natural Territories: Case Study of the Kizhskie Skerries, Lake Onega and Vodlozero Lake // Water Resources, 2023, vol. 50, no. 6. pp. 901-912.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 06.08.2024

Принята к публикации: 20.02.2025

Microplastics in Water and Problems of Its Identification (the Water Bodies in the South of the European Part of Russia are Example)

M.A. Antsiferova¹ , A.E. Glushko², L.A. Bespalova², A.V. Kleshchenkov¹, A.V. Nazarenko¹

¹*Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation
(41, Chekhov Ave., Rostov-on-Don, 344006)*

²*Southern Federal University, Institute of Earth Sciences, Russian Federation
(40, Sorge Str., Rostov-on-Don, 344090)*

Abstract. The purpose is to assess the microplastic content in the Lower Don, Seversky Donets, Tsimlyansk Reservoir, and the Lower Volga, and to test various sampling techniques and to identify the composition of particles.

Materials and methods. Two sampling methods were used: full-volume sampling in 2021 and 2022 and concentrated sampling in 2023. In the first case, sampling was performed by a bathometer, the size range was 0.1-5 mm; the second sampling method consisted of trawling a neuston net, the lower limit corresponded to a cell rating of 0.3 mm. Sample preparation was carried out according to the modified NOAA method, visual separation of particles was performed using a microscope, composition was determined by Raman spectroscopy and IR Fourier spectroscopy, MP surface was studied using SEM, and PHI polymer hazard level was calculated.

Results and discussion. The average concentrations according to the data of 2021 were: in the Lower Don 36 units/l, in Seversky Donets 38 units/l, Tsimlyansk Reservoir 33 pcs./l. In 2022, 21 pcs./l were found in Lower Don, in the Tsimlyansk Reservoir – 10 pcs./l, in the Lower Volga – 16 pcs./l. In 2023, when sampled by trawling, microplastic concentrations in the waters of the Lower Don River were 94.32 pcs./m³, in the Tsimlyansk Reservoir – 12.3 pcs./m³, in the Lower Volga – 81.06 pcs./m³.

Conclusion. The characteristics of the particles differ depending on the sampling method: the bathometer mainly covered transparent fibers, 0.3 mm in size, and the use of nets resulted in a higher diversity and coarseness. Maximum concentrations of MP in water were recorded near urbanized areas, pools of hydroelectric power plants, mouths of tributaries, and also under the influence of sheet washout.

Key words: microplastics, plastic debris, Raman spectroscopy, IR Fourier spectroscopy, SEM-analysis, polymers, land waters, Lower Don, Lower Volga, Tsimlyansk Reservoir.

Funding: The publication was prepared as part of the implementation of the Scientific Research Centre of the Russian Academy of Sciences, project no. 122011900153-9.

For citation: Antsiferova M.A., Glushko A.E., Bespalova L.A., Kleshchenkov A.V. Nazarenko A.V. Microplastics in Water and Problems of Its Identification (the Water Bodies in the South of the European Part of Russia are Example). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologiya*, 2025, no. 1, pp. 115-124 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/1/115-124>

REFERENCES

1. Blinovskaya Ya.Yu., Yakimenko A.L. Analiz zagryazneniya akvatorii zaliwa Petra Velikogo (Yaponskogo morya) mikroplastikom [Analysis of microplastic pollution in the water area of Peter the Great Bay (Sea of Japan)]. *Successes of Modern Natural Science*, 2018, no. 1, pp. 68-73. (In Russ.)
2. Yesyukova E.E., Chubarenko I.P. Mikroplastik v vodnoy tolshche, donnyh osadkakh i peskah plyazhej yugo-vostochno chasti Baltijskogo morya: koncentracii, raspredelenie chastic po razmeram i formam [Microplastics in the water column, bottom sediments and beach sands of the southeastern Baltic Sea: concentrations, particle size and shape distribution]. *Regional Ecology*, 2019, no. 2 (56), pp. 16-29. (In Russ.)
3. Zobkov M.B., Yesyukova E.E. Mikroplastik v morskoj srede: obzor metodov otbora, podgotovki i analiza prob vody, donnyh otlozhenij i beregovyh nanosov [Microplastics in the marine environment: a review of methods for sampling, preparation and analysis of water samples, bottom sediments and coastal sediments]. *Oceanology*, 2017, vol. 58, no. 1, pp. 149-157. (In Russ.)
4. Issledovanie zagryazneniya mikroplastikom morej rossijskoy Arktiki i Dal'nego Vostoka [Investigation of microplastic pollution in the seas of the Russian Arctic and the Far East] / A.A. Yershova, T.R. Eremina, A.L. Dunaev I dr. *Arctic: Ecology and Economics*, 2021, issue 11, no. 2, pp. 164-177. (In Russ.)
5. Mikroplastik v morskoj srede: monografiya [Microplastics in the marine environment: a monograph] / I.P. Chubarenko, E.E. Yesyukova, L.I. Khatmullina et al. Moscow: Scientific World, 2021. 520 p. (In Russ.)
6. Assessment of potential ecological risk of microplastics in the coastal sediments of India: A meta-analysis / M. Ranjani, S. Veerasingam, R. Venkatachalam et al. *Marine Pollution Bulletin*, 2021, no. 163, 111969.



7. Combining citizen and conventional science for microplastics monitoring in the White Sea basin (Russian Arctic) / Ershova A., Makeeva I., Malgina E., et al. *Mar. Pollut. Bull.*, 2021, no. 173, part A, pp. 112955.
8. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in watersand sediments / J. Masura, J. Baker, G. Foster, C. Arthur. *NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48*, U.S. Department of Commerce, 2015. 31 p.
9. Lithner D., Larsson Å., Dave G. Environmental and health hazard ranking, and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science of The Total Environment*, 2011, no. 409 (18), pp. 3309-3324.
10. Microplastics and their possible sources: The example of Ofanto river in southeast Italy / C. Campanale, F. Stock, C. Massarelli et al. *Environ. Pollut.*, 2020, no. 258, pp. 113284.
11. Microplastics in fish gut, first records from the Tom River in West Siberia, Russia / Yu.A. Frank, E.D. Vorobiev, I.B. Babkina, et al. *Tomsk State University Journal of Biology*, 2020, no. 52, pp. 130-139.
12. Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification / V. Hidalgo-Ruz, L. Gutow, R. C. Thompson, M. Thiel. *Environmental Science & Technology*, 2012, no. 46, pp. 3060-3075.
13. Microplastics in urban wastewater and estuarine water: Importance of street runoff / M. Sugiura, H. Takada, N. Takada et al. *Environmental Monitoring and Contaminants Research*, 2021, no. 1, pp. 54-65.
14. Microplastic risk assessment in surface waters: A case study in the Changjiang Estuary, China / P. Xu, G. Peng, L. Su, et al. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, no. 133, pp. 647-654.
15. Pollution of Beach Sands of the Ob River (Western Siberia) with Microplastics and Persistent Organic Pollutants / Yu.A. Frank, Yu.S. Sotnikova, V.Yu. Tsygankov, et al. *Journal of Xenobiotics*, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 989-1002.
16. Screening of Microplastics in Aquaculture Systems (Fish, Mussel, and Water Samples) by FTIR, Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy and Micro-Raman Spectroscopies / K. Miserli, Ch. Lykos, A.G. Kalam-pounias, I. Konstantinou. *Applied Sciences (Switzerland)*, 2023, no. 17, pp. 9705.
17. Soursou V., Campo Ju., Pico Y. Spatio-temporal variation and ecological risk assessment of microplastics along the touristic beaches of a mediterranean coast transect (Valencia province, East Spain). *Journal of Environmental Management*, 2024, no. 354, pp. 120315.
18. Wang W., Wang J. Investigation of microplastics in aquatic environments: An overview of the methods used, from field sampling to laboratory analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2018, no. 108, p. 195-202.
19. Zobkov M.B., Efremova T.A. Concentrations in Bottom Sediments of the Lakes of Specially Protected Natural Territories: Case Study of the Kizhskie Skerries, Lake Onega and Vodlozero Lake. *Water Resources*, 2023, vol. 50, no. 6. pp. 901-912.

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 06.08.2024

Accepted: 20.02.2025

Анциферова Марина Артуровна
Инженер-исследователь лаборатории гидрологии и гидрохимии Южного научного центра РАН, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, ORCID: 0009-0006-6549-8606, e-mail: m12antsiferova@mail.ru

Глущко Арина Евгеньевна
Преподаватель кафедры океанологии Института наук о Земле Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-1562-0590, e-mail: Arinaglushko01@gmail.com

Беспалова Людмила Александровна
Профессор кафедры океанологии Института наук о Земле Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-0269-4934, e-mail: bespalowaliudmila@yandex.ru

Клещенков Алексей Владимирович
Заведующий лабораторией гидрологии и гидрохимии Южного научного центра РАН, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-7976-6951, e-mail: kle-aleksej@yandex.ru

Назаренко Александр Владимирович
Старший научный сотрудник сектора 3-D микроскопии Южного научного центра РАН, г. Ростов-на-дону, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-9684-693X, e-mail: avnazarenko1@gmail.com

Marina A. Antsiferova
Research Engineer at the Laboratory of Hydrology and Hydrochemistry of the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation, ORCID: 0009-0006-6549-8606, e-mail: m12antsiferova@mail.ru

Arina E. Glushko
Lecturer at the Department of Oceanology of the Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-1562-0590, e-mail: Arinaglushko01@gmail.com

Lyudmila A. Bespalova
Professor at the Department of Oceanology of the Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-0269-4934, e-mail: bespalowaliudmila@yandex.ru

Alexey V. Kleshchenkov
Head of the Laboratory of Hydrology and Hydrochemistry of the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-7976-6951, e-mail: kle-aleksej@yandex.ru

Alexander V. Nazarenko
Senior Researcher at the 3-D Microscopy Sector of the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-9684-693X, e-mail: avnazarenko1@gmail.com