

На правах рукописи



АНЦИФЕРОВА МАРИНА АРТУРОВНА

**ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКОМ
НИЖНЕГО ДОНА, ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА,
НИЖНЕЙ ВОЛГИ И СЕВЕРНОГО КАСПИЯ**

Специальность – 1.6.21. Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Ростов-на-Дону – 2025

Работа выполнена на кафедре океанологии Института наук о Земле Южного федерального университета (ЮФУ) и в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук» (ЮНЦ РАН)

Научный руководитель: **Беспалова Людмила Александровна**,
доктор географических наук, доцент,
Южный федеральный университет, профессор

Официальные
оппоненты: **Чубаренко Ирина Петровна**,
доктор физико-математических наук,
Атлантическое отделение Институт океанологии
им. П. П. Ширшова Российской академии наук,
заведующий лабораторией физики моря,
главный научный сотрудник

Жукова Светлана Витальевна,
кандидат географических наук, доцент,
Азово-Черноморский филиал ВНИИРО,
заведующий лабораторией гидрологии

Защита диссертации состоится **02 октября 2025 года в 13:00** на заседании диссертационного совета ЮФУ 801.01.11 по географическим наукам на базе Института наук о Земле Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40, к. 201 (202).

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке им. Ю.А. Жданова Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, 21Ж и на сайте Южного федерального университета <https://hub.sfedu.ru/diss/show/1339517/>

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Отзыв на автореферат в 2-х экз. (с указанием даты, полностью ФИО, ученой степени со специальностью, звания, организации, подразделения, должности, адреса, телефона, e-mail), заверенный печатью организации, просим направлять по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40, к. 208, ученому секретарю диссертационного совета ЮФУ801.01.11 Решетняк О.С., а также в формате pdf на e-mail: osreshetnyak@sfedu.ru (до отправки по почте).

Ученый секретарь
диссертационного совета



Решетняк Ольга Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

Микропластиком (МП) называют твердые, нерастворимые в воде частицы синтетических полимеров, размером до 5 мм (Thompson et al., 2004; Masura и др., 2015), нижняя граница изменяется от 0,1 до 0,3 мм, в зависимости от методов отбора и обработки проб. Наблюдается высокая встречаемость этих частиц в различных средах, особенно в водных экосистемах.

Существует большое разнообразие типов микропластика: различного размера, формы, цвета, происхождения и химического состава, что делает его анализ и классификацию сложными. Поэтому данная область исследований имеет множество нерешенных вопросов, в том числе методических, о характере его седиментации и транспортировки, опасности загрязнения и влиянии на живые организмы. Известно о попадании и накоплении МП в легких, желудке, мышечных тканях и мозгу, где он высвобождает токсичные вещества, как адсорбированные из окружающей среды, так и входящие в состав примесей, используемых при изготовлении изделий из пластика – так называемый эффект «таблетки с ядом». Это может вызывать кислородное голодание и снижение активности у мелких животных, эндокринные нарушения и воспалительные процессы в организме человека (Rai et al., 2022).

Большинство исследований сосредоточено на загрязнении микропластиком морской среды, тогда как пресноводные объекты мало затронуты, хотя именно реки являются основным источником частиц поступления в моря – а именно 80% морского мусора приносится речным стоком (Meijer L. J. et al., 2021). В связи с этим, существует необходимость изучения содержания микропластика в водах суши, на что и направлена работа, фокусирующаяся на крупных водных системах юга России, включающих как водотоки, так и водоемы, изучены и сточные воды г. Ростов-на-Дону, как основной источник поступления МП.

Отдельно стоит методический вопрос, в связи с отсутствием единой стандартизированной методики отбора проб воды на определение содержания микропластика, что вызывает ряд сложностей при попытке сравнения разных работ и оценивании общей загрязненности. Поэтому, в данном исследовании отбор проб производился как полнообъемным (батометром), так и концентрированным (траление) способами, для получения более репрезентативных результатов.

Степень разработанности проблемы

Первые мелкие частицы синтетических полимеров были обнаружены в 70-х гг. прошлого столетия в Саргассовом море (Carpenter et al., 1972), в количестве 3500 штук на км². Термин «микропластик» был введен в 2004 году (Thompson et al., 2004). Как упоминалось, большинство работ сосредоточено на морях, среди Российских объектов активно изучаются Балтийское и Японское (Чубаренко и др., 2020; Блиновская и др., 2018; Efimova et al., 2018), представлены данные по Черному морю (Bagaev et al., 2018), Азовскому (Глушко и др., 2021), по морям российской Арктики и Дальнего Востока (Ершова и др., 2021).

Изучение пресноводных систем на территории России, проводится на Ладожском и Онежском озере и их притоках (Зобков и др., 2021), Обь-Иртышском бассейне (Frank et al., 2020; Frank et al., 2021; Frank et al., 2024). В 2019 г. На Юге России подробное изучение начато Институтом Наук о Земле ЮФУ и Южным научным центром РАН (Глушко, Беспалова, 2023; Анциферова и др., 2024; Анциферова, Сазонов, 2024). Большим «белым пятном» в географии изученности является Северный Каспий – во всем море затронуты только береговая зона, относящаяся к Ирану и Казахстану (Mohammad и др., 2020; Anouk и др., 2021).

Объекты исследования – воды Нижнего Дона, Северского Донца, Цимлянского водохранилища, Нижней Волги, Северного Каспия.

Предмет исследования – количественные и качественные показатели содержания микропластика в водной среде исследуемых объектов.

Целью исследования является оценка загрязненности микропластиком водотоков и водоемов Юга европейской части России. Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**.

1. Дать характеристику физико-географических условий района исследований.

2. Проанализировать работы по проблеме загрязнения водных объектов микропластиком в России и Море и используемым методам отбора и обработки проб на микропластик.

3. Апробирование различных методов отбора, обработки и определения проб микропластика, включая экспедиционные, лабораторные и инструментальные исследования на водных объектах.

4. Оценить загрязнение микропластиком водных объектов по таким критериям, как концентрации, морфологические и морфометрические характеристики микропластика, химический состав и уровень опасности.

Соответствие диссертационного исследования паспорту специальности. Микропластик является последствием урбанизации,

хозяйственной и бытовой деятельности человека, ухудшающим состояние окружающей среды. Поэтому, тема научной работы соответствует паспорту специальности 1.6.21. Геоэкология по пунктам:

1.6. Глобальные и региональные экологические кризисы – комплексные изменения окружающей среды, приводящие к резкому ухудшению условий жизни и хозяйственной деятельности. Геоэкологические последствия природных и техногенных катастроф.

1.8. Природная среда и геоиндикаторы ее изменения под влиянием урбанизации и хозяйственной деятельности человека: химическое и радиоактивное загрязнение почв, пород, поверхностных и подземных вод и сокращение их ресурсов, наведенные физические поля, изменение криолитозоны.

Научная новизна работы заключается в том, что это первая комплексная оценка загрязнения микропластиком водных объектов Юга России с апробацией различных методик.

Определен уровень концентрации микропластика в водах Юга России на примере Северного Каспия, Нижней Волги, Нижнего Дона, Северского Донца и Цимлянского водохранилища.

Исследованы особенности пространственного распределения микропластика в природных водах, и источники его поступления.

Определены морфологические и морфометрические характеристики микропластика и степень его деградации в водной среде с использованием сканирующей электронной микроскопии и оптической микроскопии в водоемах юга России.

Идентифицирован состав микропластика сочетанием нескольких спектроскопических методов: спектроскопией комбинационного рассеяния (Рамановской) и ИК-Фурье спектроскопией.

Рассчитан индекс опасности полимеров РНИ (Polymer Hazard Index), ранее не использовавшийся для водных объектов в пределах территории России.

Основные защищаемые положения:

1. Микропластик присутствует в водной среде всех исследуемых объектов с максимальными концентрациями за период исследований: Нижний Дон – 139 шт/м³, Северский Донец – 38 шт/л, Цимлянское вдхр. – 60 шт/л, Нижняя Волга – 100 шт/м³, Северный Каспий – 44 шт/м³. Что сопоставимо с уровнем загрязнения водных объектов России и Мира.

2. Высокие концентрации микропластика приурочены к крупным населенным пунктам (Астрахань, Волгоград), бьефам гидроузлов, местам впадения притоков (Кундрючья, Маныч, Аксай), устьевым областям Дона и

Волги, зонам смешения на маргинальных фильтрах, то есть зависят как от природных, так и от антропогенных факторов.

3. Обнаруженные частицы микропластика, в основном волокна (от 60% до 90%) и фрагменты (от 30% до 5%), по составу являются: полиэтиленом высокого и низкого давления, (поли) этиленвинилацетатом, полистиролом, полипропиленом, полиамидом, полиэтилентерефталатом с общим индексом опасности (PHI) второго класса.

Теоретическая и практическая значимость. Материалы исследования являлись составной частью работ в рамках проекта «Разработка методологии определения количественного и качественного содержания микропластика в природной поверхностной воде» 2023 г. Его целью являлась разработка стандартизированной методики мониторинга загрязненности частицами МП водной среды, для проведения мероприятий федерального государственного надзора в отношении поверхностных водных объектов и сточных вод, проводимого на всей территории Российской Федерации.

Полученные результаты могут быть положены в основу регулярного мониторинга за загрязнением водоемов и водотоков, являться информационной базой для принятия важных решений по снижению уровня загрязнения микропластиком.

Материалы диссертации используются в учебном процессе при чтении курсов лекций «Гидрология», «Учение о гидросфере», «Региональные проблемы комплексного управления прибрежными территориями», «Современные проблемы Больших морских экосистем», и для осуществления практических и лабораторных работ в Институте наук о Земле Южного федерального университета.

Методология и методы исследования. Исследование проводилось по материалам экспедиционных исследований на НИС «Профессор Панов» и «Денеб», пробы воды отбирались батометром и тралением нейстонной сети с номиналом ячеи 0,3мм. Обработка проводилась согласно методу NOAA (Masura, et al., 2015), использовалась оптическая микроскопия для подсчета и определения морфологии и морфометрии МП, растровая электронная микроскопия и спектроскопия для идентификации состава частиц. В работе использованы материалы, полученные в ходе реализации КНП 13.1902.24.06 «Южный вектор национальной безопасности в условиях геополитических и климатических вызовов» (Соглашение с Минобрнауки России № 075-15-2024-258 от 24.04.2024 г.), в рамках реализации пп. 1.6, 1.25, 2.3 Плана-графика исполнения обязательств и пп. 4.6, 4.25, 4.36, 5.13 Технического задания.

Достоверность результатов. Достоверность полученных результатов можно подтвердить: использованием различных методов пробоотбора воды и качественного анализа, большим объемом экспедиционных и лабораторных работ и собранного фактического материала. В основу работы положены материалы, собранные и обработанные в период с 2021 по 2024 год, во время экспедиционных рейсов ЮНЦ РАН (Южный Научный Центр Российской Академии Наук) на НИС «Профессор Панов» и «Денеб», с последующей обработкой в ЦКП «Центр исследований минерального сырья и состояния окружающей среды» Института Наук о Земле ЮФУ и лаборатории Гидрологии и гидрохимии ЮНЦ РАН; также использовались оборудование ЦКП ЮНЦ РАН: растровый сканирующий электронный микроскоп Carl Zeiss EVO 40, Рамановский спектрометр RAMOS S120, ИК-Фурье спектрометр FSM 2202. Результаты сопоставлялись с данными по загрязнению микропластика на водоемах и водотоках России и Мира.

Исходные материалы и личный вклад автора. Постановка цели и задач диссертационной работы проводилась соискателем совместно с научным руководителем д.г.н. Л.А. Беспаловой. Лично автором составлялась программа исследований, аналитический обзор литературы по теме. Отбор проб в ходе экспедиционных работ, проведение лабораторных исследований (пробоподготовка, определение количества микропластика, его морфологических и морфологических характеристик), интерпретация данных натурных измерений, создание картосхем проводились соискателем лично. При непосредственном участии автора и совместно с сотрудниками физического направления ЮНЦ РАН идентифицировался состав микропластика. В таблице 1 приведен объем проведенных исследований.

Таблица 1 – Объем проведенных исследований

№	Виды работ	Количество
1	Отбор проб полнообъемным методом	65 шт
2	Отбор проб концентрированным методом	20 шт
3	Отбор проб сточных вод	20 шт
3	Обработка проб методом NOAA	105 единиц проб
4	Исследования под оптическим микроскопом	105 единиц проб
5	Изучение растровым электронным микроскопам	119 частиц МП
6	Определение состава на Рамановском спектрометре	107 частиц МП
7	Определение состава на ИК-Фурье спектрометре	122 частицы МП
8	Создание карт-схем	17 шт

Апробация результатов исследования. Основные результаты и положения по теме научного исследования представлены в 20 публикациях, в

том числе в 5 статьях в журналах из списка ВАК РФ и 15 публикациях в сборниках всероссийских и международных конференций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы. Общий объем работы составляет 162 страницы, включая 58 рисунков и 11 таблиц. Список литературы включает 212 источников.

Связь с научными программами, планами, темами. Работа выполнена в соответствии с планами научных исследований в рамках реализации Крупного научного проекта 13.1902.24.06 «Южный вектор национальной безопасности в условиях геополитических и климатических вызовов» (Соглашение с Минобрнауки России № 075-15-2024-258 от 24.04.2024 г.), Этап 1 - пп.1.6 и 1.25 ПГ и пп. 4.6, 4.25, 5.13 ТЗ, Этап 2-п.2.3, и 4.36 ТЗ. А также проекта «Разработка методологии определения количественного и качественного содержания микропластика в природной поверхностной воде» 2023 г.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю, профессору кафедры океанологии, д.г.н. Беспаловой Л.А. за советы на всех этапах проведения научного исследования, академику РАН Матишову Г.Г., директору ЮНЦ РАН, д.г.н. Бердникову С.В., директору ИНоЗ ЮФУ д.г.н. Кузнецову А.Н., зав. лаборатории гидрологии и гидрохимии к.г.н. Клещенко А.В, зам. директора ЮНЦ РАН д.т.н. Юрасову Ю.И. А также выражает свою признательность физикам ЮНЦ РАН к.ф-м.н. Пляке П.С., к.т.н. Данилиной Э. М., к.ф-м.н. Назаренко А. В., к.ф-м.н. Пашенко А.С. за содействие в идентификации состава пластика и м.н.с. Московцу А.Ю за помощь в экспедиционных работах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обозначены актуальность темы, цель и задачи диссертационного исследования, новизна, научная, практическая значимость работы, личный вклад автора, апробация и положения, выносимые на защиту.

Глава 1 «Постановка проблемы исследования» описывает микропластик как объект научной работы. Излагается история изученности и современное состояние проблемы.

В разделе **1.1 «Микропластик как объект исследования. Определение и характеристики»** объясняется термин «микропластик» (МП) как неоднородной группа нерастворимых в воде синтетических полимеров, различающихся по форме, цвету, и составу, но объединенных в единый класс по размеру, который не должен превышать 5 мм (Arthur et al.,

2009). Описываются все характеристики микропластика: по происхождению (первичный, вторичный), по форме, цвету, размеру, составу.

В разделе **1.2 «Современное состояние проблемы содержания частиц микропластика в водах суши»**, дан обзор литературных источников, посвященных проблеме изучения микропластика в водах суши (Lechner et al., 2014; Mani et al., 2015; Baldwin et al., 2016; Mani et al., 2015; Wang et al., 2018; Чубаренко и др., 2021; Frank et al., 2021; Поздняков и др., 2021; Глушко и др., 2021; Франк и др., 2022).

В разделе **1.3 «Анализ методов пробоотбора природных вод для определения микропластика»** изучаются методы отбора проб воды, на выявление микропластика, используемые исследователями по всему миру. В целом, они все делятся на два типа – концентрированные и полнообъемные. К концентрированным относят отбор посредством использования нейстонных сетей, сит или каскада сит, к полнообъемным – батометров и ведер (Hidalgo-Ruz et al., 2012; Stock et al., 2019; Чубаренко и др., 2021).

Глава 2 «Общая характеристика исследуемого района» описывает природные условия Нижнего Дона и Северского Донца, Цимлянского водохранилища, Нижней Волги и Северного Каспия. В разделе **2.1** приведены природные условия Нижнего Дона и его притока Северского Донца, в разделе **2.2** – Цимлянского водохранилища, **2.3** – Нижней Волги, в **2.4** – Каспийского моря.

Глава 3 «Материалы и методы исследования» посвящена используемым в работе способам пробоотбора воды, лабораторного и инструментального анализа на определение содержания МП.

В разделе **3.1 «Методы отбора проб воды для определения содержания микропластика»** описываются способы пробоотбора. В 2021 и 2022 году применялся полнообъемный метод: пробы воды, объемом 1л отбирались батометром и хранились в стеклянных бутылках. В 2023 году отбирались концентрированные пробы, тралением нейстонной сети, с размером ячеи 0,3 мм, объем пропущенной воды варьировал от 200 до 500 м³ в реках, и около 1,5 м³ в море. В первом случае размерная граница отобранных частиц МП составляла 0,1-5 мм, во втором 0,3-5 мм. Также были собраны пробы сточных вод на территории г. Ростова-на-Дону, с помощью портативной системой для отбора проб микропластика (МПН), состоящей из погружного насоса и каскада сит (0,5;0,3;0,1 мм).

В разделе **3.2 «Пробоподготовка и лабораторные исследования образцов микропластика»** представлен анализ проб, который осуществлялся по модифицированному методу NOAA (Зобков, Есюкова, 2015), направленного на отделение микропластика от компонентов

естественного происхождения. Определение количества микропластика, его морфологические и морфометрические характеристики определялись в ходе визуальной сортировки частиц под оптическим микроскопом.

Раздел **3.3 «Изучение микропластика растровой электронной микроскопией»** посвящен электронно-микроскопическому анализу для определения деформированности МП, определения видов и степени деградации.

В разделе **3.4 «Использование методов ИК-Фурье и Рамановской спектроскопии для идентификации состава микропластика»** приводится процесс определения состава полимеров. Из проб, отобранных полнообъемным методом удалось определить 30% частиц спектроскопией комбинационного рассеяния. На пробах, отобранных в 2023 году, для идентификации удалось использовать ИК-Фурье спектроскопию и Рамановскую – сначала методы дублировались на наиболее характерных образцах из выборки, после чего дополняли друг друга, определено около 70% частиц в пробах.

В разделе **3.5 «Расчет РНІ (Polymer Hazard Index), определение объема выноса микропластика речным стоком»**, описывается расчет индекса опасности полимеров РНІ (Polymer Hazard Index) (Lithner et al., 2011):

$$PHI = \sum P_n \times S_n,$$

где РНІ – общий индекс опасности полимера,

P_n – процент конкретных типов обнаруженных полимеров,

S_n – баллы опасности полимерных типов МП согласно классификации.

Вычислялась масса микропластика и определялся его перенос реками.

Глава 4 «Результаты. Оценка загрязнения микропластиком водных объектов юга России». Приведены концентрации, морфологические и морфометрические характеристики микропластика, виды и степень деградации, состав, закономерности распределения. Ряд результатов диссертационного исследования представлены в Отчете по Этапу 1 КНП 13.1902.24.06 «Южный вектор национальной безопасности в условиях геополитических и климатических вызовов» (Соглашение с Минобрнауки России № 075-15-2024-258 от 24.04.2024 г.), и будут представлены в отчетах за Этапы 2-3.

Раздел **4.1 «Загрязнение микропластиком Нижнего Дона и Северского Донца».** В Северском Донце в 2021 г. Среднее содержание частиц составило 38 шт/л, а максимум (43 шт/л) расположен в месте впадения р. Кундрючья и обусловлен ее стоком. В Нижнем Дону концентрации достигали 36 шт/л, с повышением до 48 шт/л около Константиновского гидроузла, а в 2022 году показатели колебались от 10 до

41 шт/л, со средними 21 шт/л (Анциферова, 2023). Согласно результатам 2023г., содержание МП в Дону составило 94 шт/м³, наибольшее количество 132 шт/м³ зафиксировано около станицы Романовской, что связано со сбросом вод с придонного слоя Цимлянского вдхр. (Анциферова, Сазонов, 2024). Концентрации и распределение МП представлено на рисунке 1.

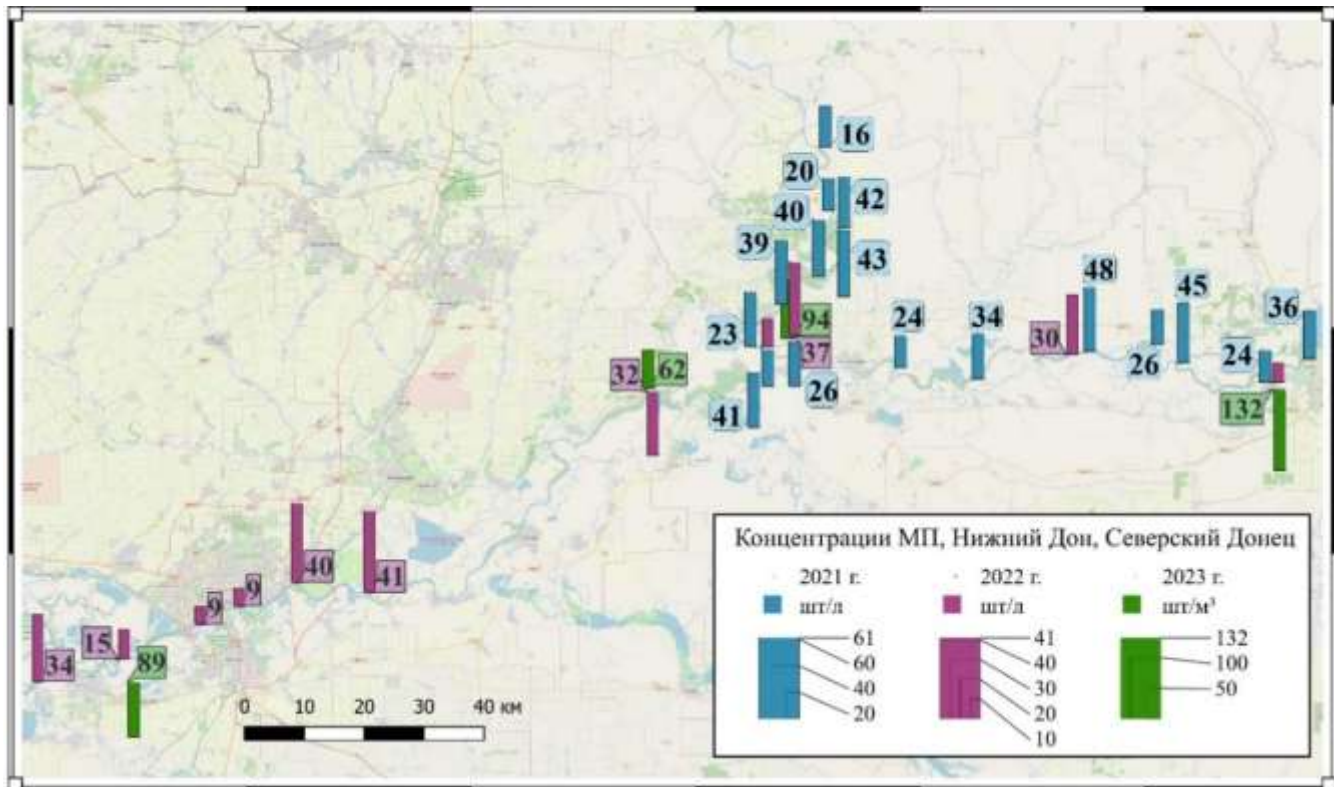


Рисунок 1 – Концентрации частиц микропластика в Нижнем Дону и Северском Донце, в период наблюдений с 2021 по 2023 гг.

Морфологические и морфометрические особенности микропластика при полнообъемном методе отбора характеризовались преобладаем прозрачных волокон, размером 0,3 мм, по данным концентрированного метода, в пробах чаще всего встречаются разноцветные волокна и фрагменты, средней длиной 0,5 мм. По составу большинство частиц оказались полиэтиленом и полипропиленом, в соответствии с рисунком 2, меньше – полистиролом и полиэтилентерефталатом, 2-го уровня опасности.

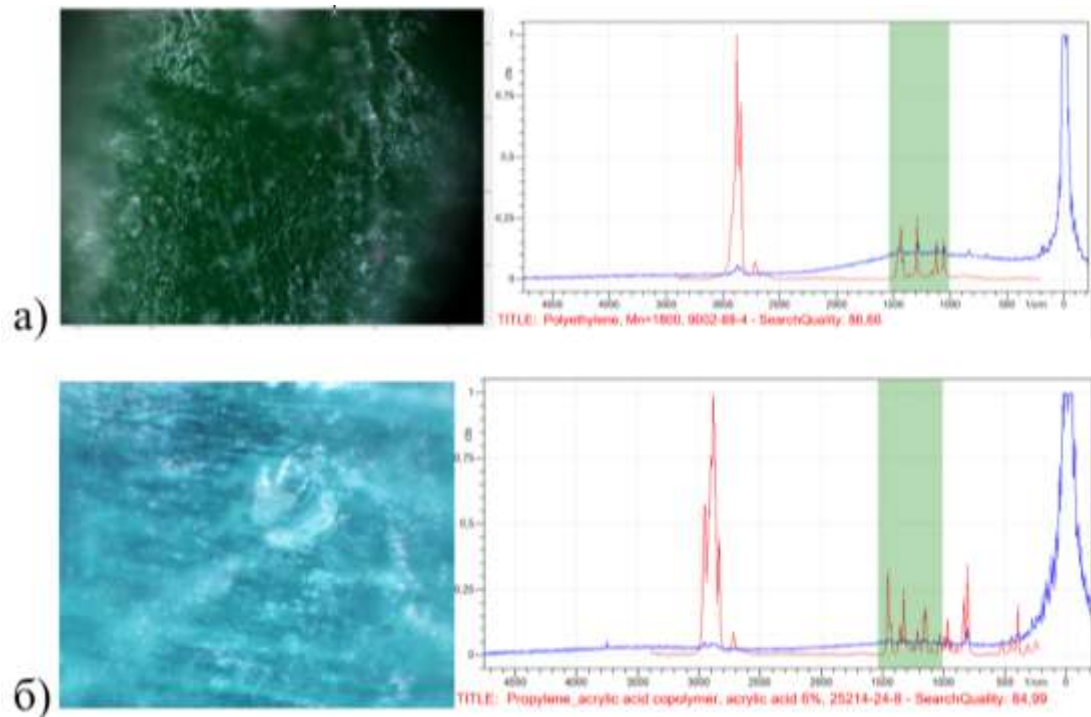


Рисунок 2 – Рамановские спектры и изображения образцов микропластика в Нижнем Дону (а-полиэтилен, б-полипропилен)

Раздел **4.2 «Содержание микропластика в Цимлянском водохранилище»**. В 2021 году в водах водохранилища в среднем обнаружено 33 шт/л с максимумами возле береговой линии; в 2022 году была охвачена только центральная часть водоема, и содержание МП составляло от 5 до 18 шт/л, со средними значениями 10 шт/л. В 2023 году получены значения в 12 шт/м³, в соответствии с рисунком 3. Такие низкие концентрации могут быть с периодом сильного «цветения» водоема, что обычно приводит к обрастанию, увеличению веса частиц, и последующему депонированию в донные осадки (Анциферова, Сазонов, 2024).

Форма микропластика представлена в основном волокнами, и фрагментами (до 26%); мода размерного ряда составляла 0,2–0,5мм, средний размер 0,6–1,7мм, распространенный цвет – прозрачный. Идентифицированы следующие типы полимеров: полиэтилен, полипропилен, полиэтиленвинилацетат, полиамид, полиэтилентерфталат, относящиеся ко 2-му классу опасности, а также примеси, представленные на рисунке 4.

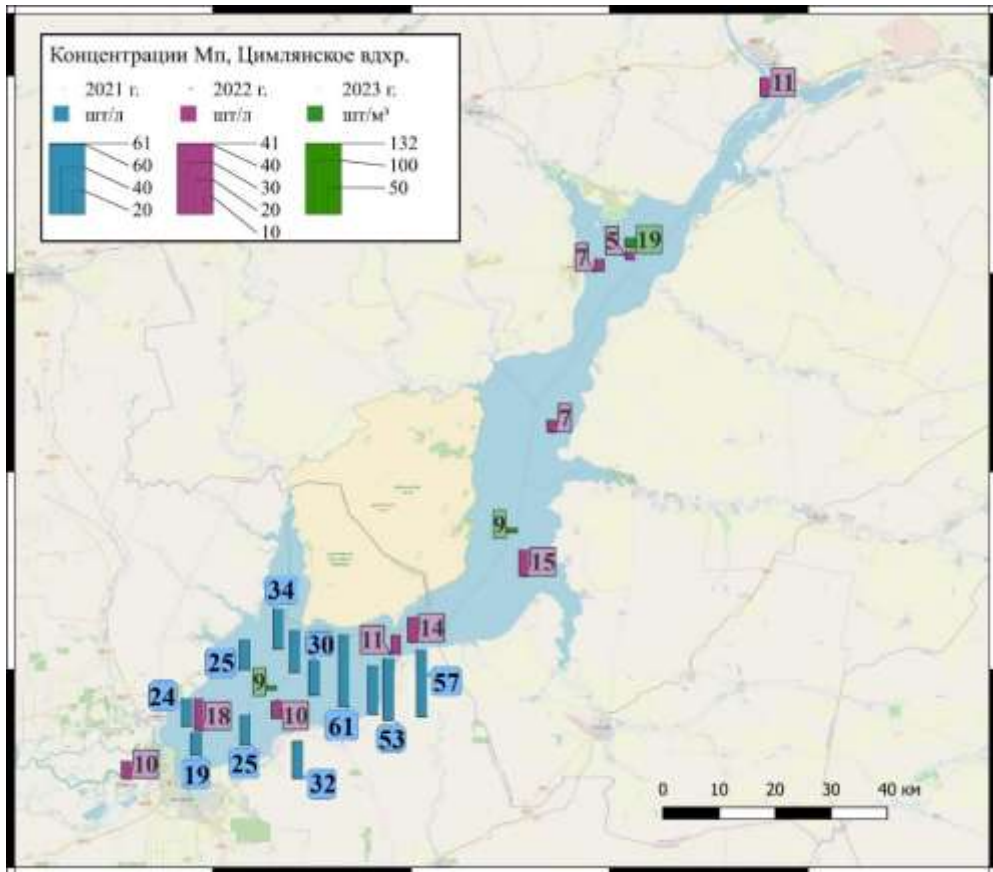


Рисунок 3 – Концентрации и распределение микропластика в Цимлянском водохранилище по данным 2021–2023 гг.

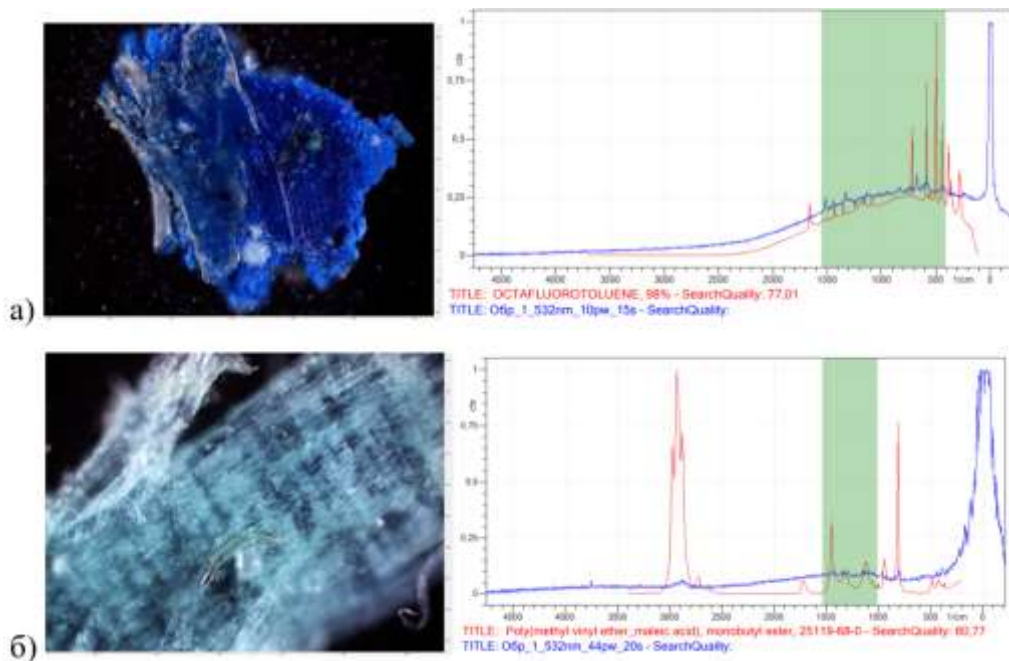


Рисунок 4 – Рамановские спектры и изображения некоторых образцов полимеров с примесями в Цимлянском вдхр. (а-краситель, б-полиметилвиниловый эфир)

Раздел 4.3 «Микропластик в Нижней Волге» дается информация о концентрациях и распределении МП в водах Нижней Волги, где в 2022 г. егл содержание составило 16 шт/л, варьируя в пределах от 8 до 30 шт/л (в районе г. Волгоград), согласно рисунку 5. По данным, полученным в 2023 году в Нижней Волге в среднем обнаружено 81 шт/м³ и отмечено три точки с высокими значениями: 100 шт/м³ при отборе после дождя, в Астрахани 98 шт/м³, Волгограде 92 шт/м³. Концентрации МП в Волго-Донском судоходном канале (ВДСК) составили: в Карповском вдхр. – 11 шт/л, Береславском вдхр. – 14 шт/л, Варваровском вдхр. – 19 шт/л» (Анциферова и др., 2024 г).

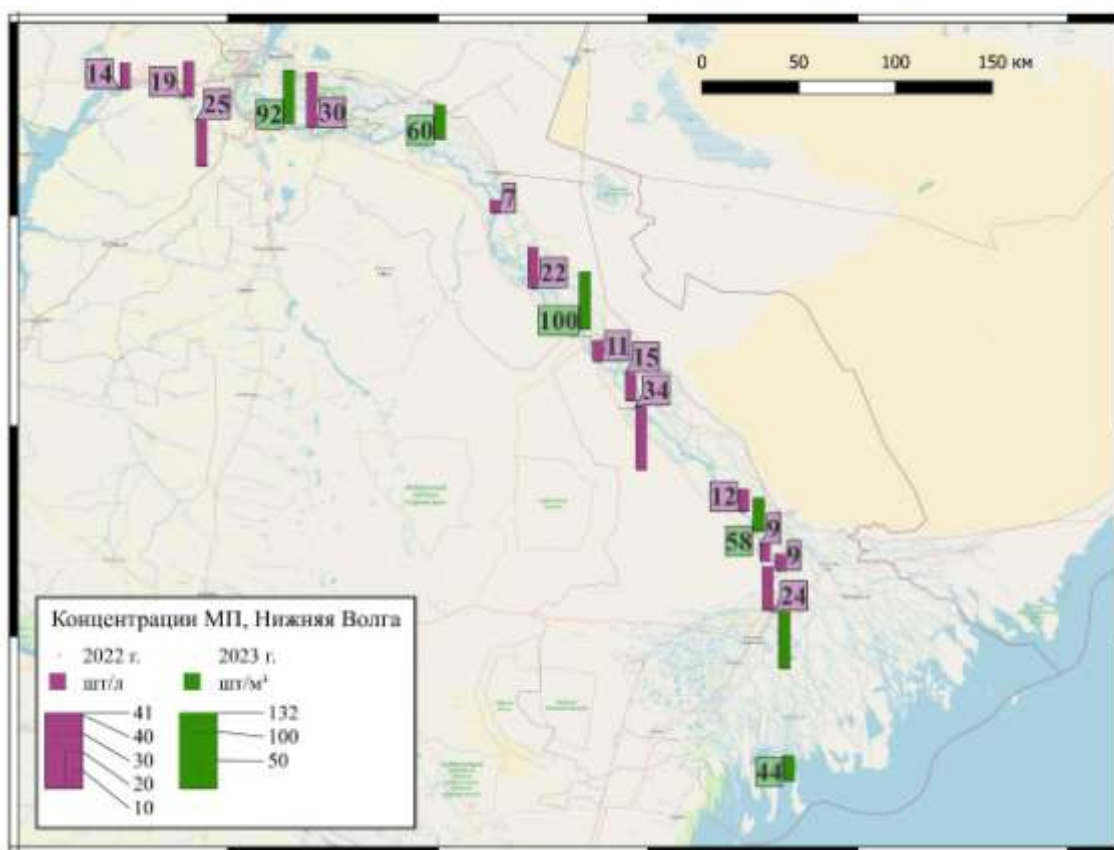


Рисунок 5 – Картограмма концентраций и распределение микропластика в Нижней Волге, по данным съемок 2022 – 2023 гг.

По данным первой съемки наиболее распространены прозрачные волокна размером 0,5 мм, второй – волокна и фрагменты, также прозрачного цвета. Мода размерного ряда составила 0,5–0,7 мм, средний размер 0,4–1,5 мм, медиана 0,4–1 мм. Распространенные полимеры: полиамид, поливинилацетат, полиэтилен (рисунок 6), 2-го класса опасности.

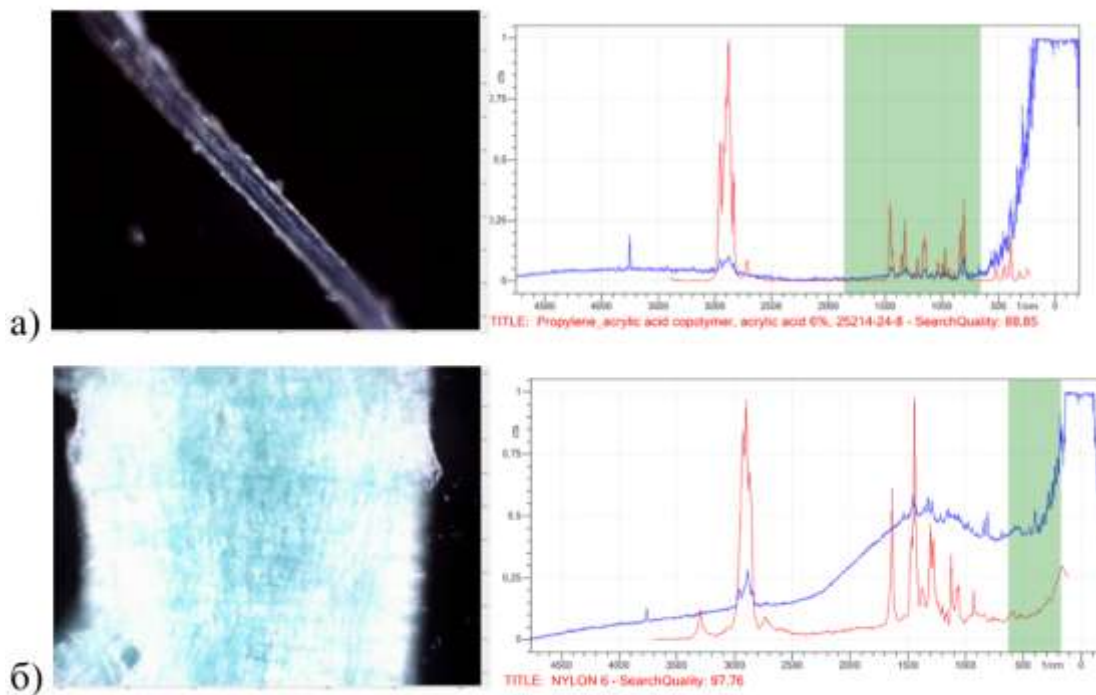


Рисунок 6 – Рамановские спектры и изображения некоторых полимеров и примесей (а – полипропилен, б – нейлон)

Раздел 4.4 «Особенности концентраций и распределения микропластика в Северном Каспии» посвящен съемке, проведенной на Северном Каспии, где концентрации микропластика заметно снижаются по мере удаления от устья Волги, наибольшие значения, 44 шт/м³, зарегистрированы в Волго-Каспийском канале, наименьшие – около Каспийска (3 шт/м³). Среднее содержание микропластика в северо-западной части моря 13 шт/м³ (Анциферова, 2024 г) (рисунок 7). Уменьшение числа частиц около о. Чечень, вероятно связано с работой маргинального фильтра, на его гравитационной стадии (Кравчишина и др., 2011), т.к. процесс осаждения МП особенно характерен для участков, где наблюдается падение скоростей потока (Neetal et al., 2020).

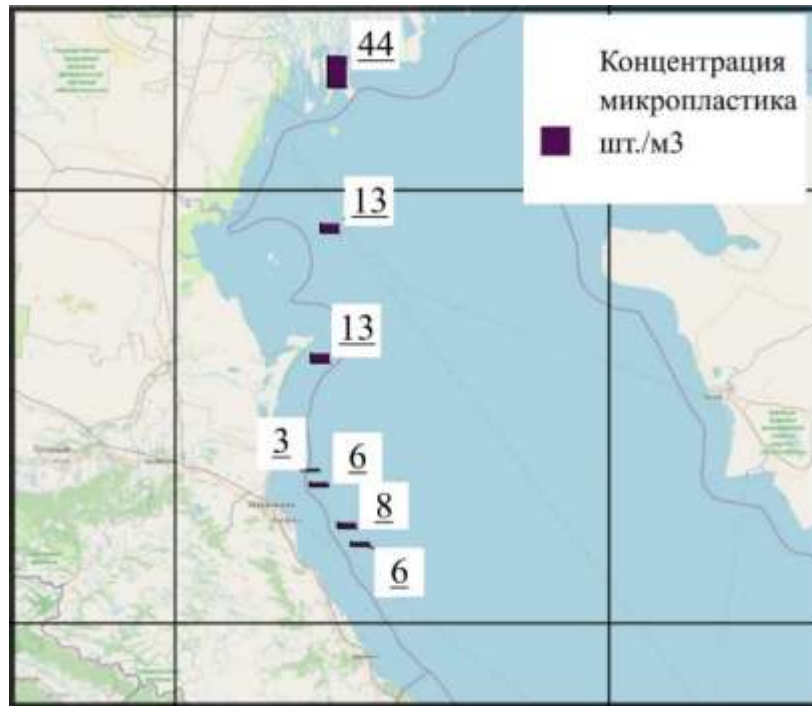


Рисунок 7 – Концентрации микропластика в Каспийском море, 2023 г.

Наиболее распространены волокна (52%) и фрагменты (30%), средний размер всех частиц составляет 1,9 мм, мода составила 0,7 мм, медианой ряда 1,3 мм. Полиэтилен, полиэтилентерефталат, а также полиэтилен винилацетат (рисунок 8) оказались преобладающими типами полимеров, они относятся ко 2-му классу опасности

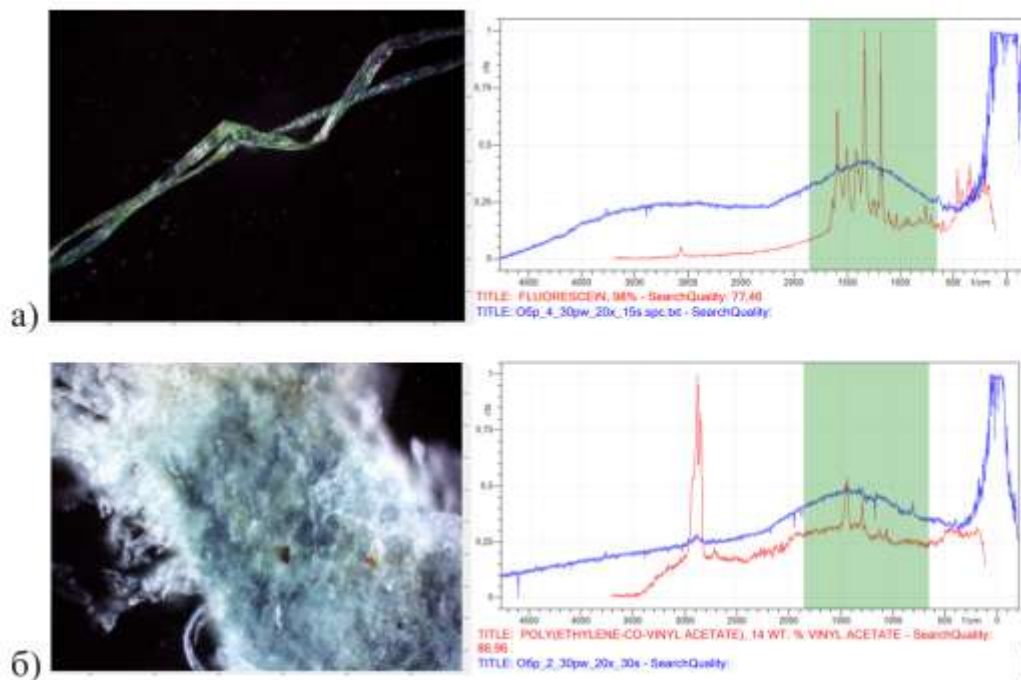


Рисунок 8 – Рамановские спектры и изображения некоторых полимеров и примесей (а-краситель, б-полиэтиленвинилацетат)

В разделе **4.5 «Изучение поверхности и деградации микропластика»** показаны различные морфологические характеристики поверхности микропластика (трещины, полости и заусенцы), как индикатор воздействия условий окружающей среды на МП и свидетельствовать об увеличении удельной площади частицы, что способствует адсорбции загрязнителей на ее поверхности. Как следствие, более деградированный микропластик, может представлять больший вред. Установлен диаметр волокон микропластика – от 0,01 до 0,05 мм.

В разделе **4.6 «Содержание микропластика в сточных водах г. Ростова-на-Дону»** установлен общий вынос частиц микропластика стоками с урбанизированных территорий на примере г. Ростова-на-Дону, как основного источника загрязнения микропластиком природных вод. Общее количество частиц в сточных водах, попадающих в Нижний Дон, составило 102 шт/м³.

Раздел **4.7 «Закономерности содержания микропластика в водных объектах»**. Наблюдается прямая зависимость между уровнем загрязнения, антропогенной нагрузкой, урбанизацией и характеристиками водного объекта. Высокие концентрации приурочены к: населенным пунктам (Астрахань, Волгоград), бьефам гидроузлов (Константиновский, Цимлянский, Апаринский), устьевым областям крупных рек и их притоков (Кунрючья, Северский Донец, Маныч).

В разделе **4.8 «Анализ используемых методов отбора, количественного и качественного определения микропластика в водной среде»** сравниваются разные методы, которые используются при проведении данного исследования. Концентрированная методика представляет более репрезентативный набор частиц, но происходит недоучет волокон. Этого недостатка лишена полнообъемная методика, которая показывает хорошее извлечение волокон в размерном диапазоне 0,1-0,5 мм, но при этом не охватывая всего разнообразия (Анциферова и др., 2024).

Раздел **4.9 «Некоторые рекомендации по доработке РНІ (Polymer Hazard Index) для оценки загрязнения микропластиком водных объектов»**. Описывается необходимость переработать данный индекс, с учетом всех параметров со степенью их воздействия в следующем порядке: количество, размер, состав, форма, цвет.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенного исследования получены фактические данные о содержании микропластика в водоемах и водотоках Юга европейской части России: Нижнего Дона, Цимлянского вдхр., Нижней Волги, Северного Каспия. Выбор объектов связан с фрагментарной информацией о концентрациях микропластика в водах суши и большой их ролью в перемещении частиц. Отдельно исследованы сточные воды г. Ростова-на-Дону, как основного источника поступления частиц пластика.

По данным литературных источников выделены особенности микропластика как объекта исследования, степень разработанности проблемы, а также изучены физико-географические характеристики исследуемого района. В основу работы положены материалы экспедиционных, лабораторных, инструментальных исследований. В связи с существующими методическими проблемами в данной области, применялись несколько методов пробоотбора и качественного определения.

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие основные **выводы**:

1. Микропластик является последствием комплексного изменения окружающей среды под воздействием урбанизации, хозяйственной и бытовой деятельности человека. Он загрязняет природные воды, ухудшая условия жизни гидробионтов и, потенциально – человека.

2. В Нижнем Дону средний уровень концентраций МП составил: в 2021 году 36 шт/л, 2022 – 21 шт/л, 2023 г. – 94 шт/м³, в Северском Донце – 38 шт/л. В Цимлянском вдхр. среднее количество микропластика в 2021 году составило 33 шт/л, в 2022 г. 10 шт/л, в 2023 – 12 шт/м³. В Нижней Волге уровень загрязнения достиг 16 шт/л в 2022 году и 81 шт/м³ в 2023 году. В Северном Каспии концентрации составили 13 шт/м³

3. При каждом способе отбора наблюдаются одни и те же закономерности пространственного распределения МП, вне зависимости от применяемой методики. Максимальные концентрации зафиксированы на участках: бьефов гидроузлов (Цимлянский, Константиновский, Апаринский) крупных населенных пунктов (Волгоград, Астрахань) впадения притоков (Кундрючья, Маныч, Аксай), устьевых областях крупных рек, вблизи побережья (в Цимлянском водохранилище).

4. Наибольшие скопления частиц зависят как от природных, так и от антропогенных факторов. Природные выступают в качестве транспорта и выступают естественными барьерами, антропогенные являются источниками поступления микропластика.

5. Основным источником поступления микропластика в природные воды являются стоки с урбанизированных территорий, что подтверждается работами, проведенными на сточных водах г. Ростова-на-Дону. Общее поступление МП с территории города в р. Дон составило 102 шт/м³.

6. Большинство частиц по форме представлено волокнами (91-66%) и фрагментами (23-4%), редко встречаются пленки и гранулы. Преобладающий цвет – прозрачный, за ним следуют черный, розовый, бирюзовый/синий, белый. Наиболее распространенный диапазон длины частиц 0,1-1 мм, ширины 10–15 мкм, 20–25 мкм, 30–35 мкм, 50 мкм.

7. Морфологические и морфометрические характеристики частиц мало отличаются между объектами, но напрямую зависят от способа отбора проб. При концентрированном (траление нейстонной сети) наблюдается большее количество фрагментов и разноцветных частиц. При этом, мелкие волокна, являющиеся доминирующими в водной среде, не учитываются, в связи с чем концентрации получаются несколько заниженными. Полнообъемный метод предоставляет ограниченную информацию о разнообразии, при этом направлен на определение мелких частиц.

8. Микропластик деформируется под воздействием окружающей среды, вследствие чего увеличивается его удельная площадь, что может привести к увеличению количества нарастающих организмов и адсорбирующихся загрязнителей.

9. Обнаруженные частицы микропластика по составу преимущественно представляют собой: полиэтилен, полиэтилентерфталат, полистирол, полипропилен, полиамид, этиленвинилацетат. Также идентифицированы некоторые токсичные примеси. Общий индекс опасности (РНИ) всех объектов относится ко 2-му классу.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Статьи в научных изданиях, входящих в Перечень ВАК:

1. Анциферова, М. А. Закономерности распределения микропластика и качество воды в акватории Цимлянского водохранилища в современный период / М. А. Анциферова, А. Д. Сазонов // Успехи современного естествознания. – 2024. – № 5. – С. 8-13. – DOI 10.17513/use.38258. К2.
2. Анциферова, М. А. Концентрации микропластика в некоторых реках и водохранилищах юга России / М. А. Анциферова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2025. – № 1(225). – С. 51-57. – DOI 10.18522/1026-2237-2025-1-51-57. К2.
3. Микропластик в воде и проблемы его определения (на примере водных объектов Юга европейской части России) / М. А. Анциферова, А. Е. Глушко, Л. А. Беспалова, А. В. Клещенко, А. В. Назаренко // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2025. – № 1. – С. 115-124. – DOI: 10.17308/geo/1609-0683/2025/1/115-124. К2.
4. Анциферова, М. А. Микропластик в окружающей среде Таганрога / М. А. Анциферова, Л. А. Беспалова // Наука Юга России. – 2022. – Т. 18, № 3. – С. 29-34. – DOI 10.7868/S25000640220304. К1.
5. Загрязнение микропластиком вод Нижнего Дона, Цимлянского водохранилища и Нижней Волги / М. А. Анциферова, Л. А. Беспалова, А. В. Клещенко [и др.] // Наука Юга России. – 2024. – Т. 20, № 2. – С. 33-43. – DOI 10.7868/S25000640240205. К1.

Статьи в журналах, индексированных в РИНЦ:

6. Анциферова, М. А. Мониторинг загрязнения микропластиком вод Нижнего Дона и Цимлянского водохранилища / М. А. Анциферова // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – 2023. – Т. 1, № 8. – С. 70-73.
7. Современные проблемы исследования микропластика в природных и сточных водах / А. В. Клещенко, М. А. Анциферова, А. Е. Глушко, А. М. Коршун // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – 2023. – Т. 1, № 8. – С. 94-97.
8. Анциферова, М. А. Загрязнение микропластиком атмосферы г. Таганрог / М. А. Анциферова, А. Е. Глушко // Общество. – 2021. – № 1(20). – С. 65-69.

Публикации в сборниках трудов конференций:

9. Анциферова, М. А. Микропластик в поверхностных водах Нижнего Дона и Цимлянского водохранилища / М. А. Анциферова // Наука Юга России: достижения и перспективы: XX Всероссийская ежегодная молодежная научная конференция с международным участием, г. Ростов-на-Дону, 15–26 апреля 2024 г.: тезисы докладов. – Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2024. – С. 69.

10. Анциферова, М. А. Анализ загрязнения микропластиком вод и донных отложений Нижнего Дона / М. А. Анциферова // Материалы научных мероприятий Всероссийской конференции с международным участием "Угрозы и риски на Юге России в условиях геополитического кризиса", г. Ростов-на-Дону, 15-18 марта, 26-29 апреля 2023 г. : материалы докладов ; XIX Ежегодной молодежной научной конференции "Достижения и перспективы научных исследований молодых ученых Юга России", г. Ростов-на-Дону, 17-28 апреля 2023 г. : тезисы докладов / Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, Российский центр научной информации ; редколлегия: С. В. Бердников (отв. редактор) [и др.]. – Ростов-на-Дону : ЮНЦ РАН, 2023. – С. 128.

11. Анциферова, М. А. Анализ загрязнения микропластиком вод Нижнего Дона и Цимлянского водохранилища. Особенности идентификации частиц методом Рамановской спектроскопии / М. А. Анциферова, Э. М. Данилина // Экология 2023 - море и человек : сборник трудов XII Всероссийской научной конференции и молодежной школы-семинара, Таганрог, 21–23 сентября 2023. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2023. – С. 219-227.

12. Анциферова, М. А. Оценка загрязнения микропластиком вод Нижнего Дона, Цимлянского водохранилища и Волги / М. А. Анциферова // Моря России: от теории к практике океанологических исследований : тезисы докладов Всероссийской научной конференции (Севастополь, 25-29 сентября 2023 года) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Российская академия наук, Морской гидрофизический институт Российской академии наук ; редколлегия: С. К. Коновалов [и др.]. – Севастополь : ФГБУН ФИЦ МГИ, 2023. – С. 227–229.

13. Анциферова, М. А. Анализ загрязненности микропластиком Нижнего Дона / М. А. Анциферова // Моря и воды суши в традиционном и современном природопользовании : сборник материалов Межрегиональной молодежной научно-практической конференции, 29 марта 2023 года. – Санкт-Петербург : РГГМУ, 2023. – С. 33-37.

14. Анциферова, М. А. Исследование загрязнения прибрежной зоны Азовского моря микропластиком в районе Таганрога / М. А. Анциферова //

XVIII Ежегодная молодежная научная конференция «Наука Юга России: достижения и перспективы», г. Ростов-на-Дону, 18–29 апреля 2022 г. : тезисы докладов. – Ростов-на-Дону : ЮНЦ РАН, 2022. – С. 84.

15. Анциферова, М. А. Загрязнение микропластиком вод Нижнего Дона / М. А. Анциферова, А. С. Михалко // Неделя науки 2022 : сборник тезисов : в двух частях. Ч. 1. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Южный федеральный университет"; редакционная коллегия: Я. А. Асланов [и др.]. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2022. – С. 833-835.

16. Анциферова, М. А. Загрязнение прибрежной зоны Г. Таганрога микропластиком / М. А. Анциферова // Неделя науки, 2021 : сборник тезисов: в двух частях. Ч. 1 / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Южный федеральный университет" ; редакционная коллегия: Я. А. Асланов [и др.]. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2021. – С. 894-896.

17. Анциферова, М. А. Содержание микропластика в пресноводных системах Юга России / М. А. Анциферова, Л. А. Беспалова, А. В. Клещенко // Комплексные исследования Мирового океана : VIII Всероссийская научная конференция молодых ученых, Владивосток, Приморский океонариум, 13-17 мая 2024 : материалы конференции. – Владивосток : ННЦМБ ДВО РАН, 2024. – С. 511-512.

18. Качественное изучение микропластика из реальных проб поверхностных вод прибрежных районов Азовского моря и Таганрогского залива методами электронной и оптической микроскопии / А. В. Назаренко, А. И. Ермолаев, М. А. Анциферова, Ю. И. Юрасов // Стратегические проблемы, угрозы и риски Азовского бассейна и Приазовья. "Опасные явления-V" : материалы V Международной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д. Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 10-14 июля 2024 г.) / Федеральный исследовательский центр-Южный научный центр Российской академии наук, Российский центр научной информации, Российская академия наук, Координационный совет Южной ассоциации научных организаций Российской академии наук ; редакционная коллегия: Г. Г. Матишов [и др.]. – Ростов-на-Дону : Издательство Южного научного центра Российской академии наук, 2024. – С. 324-330.

19. Анциферова, М. А. Концентрации микропластика в водах Северного Каспия / М. А. Анциферова // Стратегические проблемы, угрозы и риски Азовского бассейна и Приазовья. "Опасные явления-V" : материалы V

Международной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д. Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 10-14 июля 2024 г.) / Федеральный исследовательский центр-Южный научный центр Российской академии наук, Российский центр научной информации, Российская академия наук, Координационный совет Южной ассоциации научных организаций Российской академии наук ; редакционная коллегия: Г. Г. Матишов [и др.]. – Ростов-на-Дону : Издательство Южного научного центра Российской академии наук, 2024. – С. 277-279.

20. Анциферова, М. А. Загрязнение вод Нижней Волги микропластиком / М. А. Анциферова // Вторая Всероссийская конференция с международным участием «Микропластик в науке о полимерах»: сборник тезисов. – Великий Новгород: НовГУ – 2024. – С. 89. (https://microplastics.ru/wp-content/uploads/2024/10/sbornik-tezisov-2024_rus.pdf)