

УДК 502/504  
DOI: 10.7868/S25000640220304

## МИКРОПЛАСТИК В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ ТАГАНРОГА

© 2022 г. М.А. Анциферова<sup>1</sup>, Л.А. Беспалова<sup>1</sup>

**Аннотация.** Представлены результаты исследования загрязнения микропластиком прибрежной зоны Азовского моря в районе Таганрога, дана оценка уровня содержания микропластика в пляжевых и донных отложениях, в воде и в атмосферном воздухе.

Микропластиком является любой тип пластикового фрагмента длиной менее 5 мм. Он попадает в окружающую среду из всевозможных источников, как промышленных, так и сельскохозяйственных и бытовых.

Целью работы является оценка загрязненности окружающей среды Таганрога микропластиком, определение его морфологических, морфометрических характеристик, оценка степени деградации и состава микрочастиц.

В ходе исследований был проведен отбор проб в прибрежной зоне Таганрога и отобраны 21 проба пляжевых отложений, 7 проб донных осадков, 14 проб воды и 5 проб аэрозолей. При дальнейшей обработке был применен модифицированный метод NOAA, который включает следующие манипуляции: сушку, просеивание, фильтрацию, плотностное разделение, жидкое окисление, визуальную сортировку с использованием стереомикроскопа Микромед MS-1 var. 2C Digital, определение степени деградации микропластика с помощью микроскопа VEGA II LMU и идентификацию химического состава обнаруженных частиц с помощью ИК-Фурье спектрометра JASCO FT/IR-6800.

В результате проведенных исследований было установлено, что микропластик присутствует в 100 % проб. В пляжевых отложениях содержание частиц достигало 154 шт./м<sup>2</sup>, в донных – 145 шт./кг, в воде – 119 шт./л. Самые высокие концентрации были зафиксированы в южной части города (ул. Ломакина). В пробах атмосферного воздуха наибольшее количество выпадений составляло 918 частиц на 1 м<sup>2</sup> в сутки (ул. Чехова).

**Ключевые слова:** микропластик, донные и пляжевые отложения, аэрозоли, загрязнение вод, морфологические и морфометрические характеристики, Азовское море, Таганрог.

### MICROPLASTICS IN THE ENVIRONMENT OF TAGANROG

M.A. Antsiferova<sup>1</sup>, L.A. Bespalova<sup>1</sup>

**Abstract.** The article presents the results of a study of microplastic pollution of the coastal zone of the Sea of Azov near the city of Taganrog. The level of microplastic content in coast and bottom sediments, water and atmospheric air was estimated.

Microplastic includes any type of plastic fragment less than 5 mm in length. It enters the environment from various sources, both industrial and agricultural or domestic.

The purpose of the work is to assess the level of microplastic contamination of the Taganrog city environment, to determine morphological and morphometric characteristics, to assess the degree of degradation and the composition of microparticles.

In the course of the research, sampling was carried out in the coastal zone of the city of Taganrog and 21 samples of sand sediments, 7 samples of bottom sediments, 14 samples of water and 5 samples of aerosols were taken. A modified NOAA method was used for the received samples; it includes the following manipulations: drying, sifting, filtration, density separation, liquid oxidation, visual sorting using a stereo microscope Micromed MS-1 var. 2C Digital, determination of the degree of microplastic degradation using

<sup>1</sup> Институт наук о Земле Южного федерального университета (Institute of Earth Sciences of the Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зопре, 40, e-mail: marinaan121298@gmail.com

a microscope VEGA II LMU and identification of the chemical composition of the detected particles using a JASCO FT/IR-6800 IR-Fourier spectrometer.

According to the obtained data it was found that microplastics are presented in 100% of samples (sand and bottom sediments, waters, aerosols). In sand sediments, the content of particles reached 154 pcs/m<sup>2</sup>, in bottom sediments 145 pcs/kg, in water 119 pcs/l. The highest concentrations were recorded in the southern part of the city (Lomakin street). In atmospheric air samples, the largest amount of precipitation was up to 918 particles per 1 m<sup>2</sup> per day (Chekhov street).

**Keywords:** microplastics, bottom and sand sediments, aerosols, water contamination, morphological and morphometric characteristics, Sea of Azov, Taganrog.

## ВВЕДЕНИЕ

Пластик является одним из самых используемых во многих отраслях производства материалов. Этот синтетический полимер под воздействием различных экзогенных факторов медленно разрушается, а его остатки образуют значительное количество макро-, микро- и нанопластика.

Предметом данного исследования является микропластик – любые пластиковые частицы размером до 5 мм [1].

Объектом исследования является Таганрог – крупный промышленный и портовый центр юга

России, второй по величине город Ростовской области с населением более 250 тыс. человек. Город считается курортным, поэтому особенно важно иметь представления об экологической ситуации данного региона. В Таганроге остро стоит проблема утилизации отходов – в пределах его территории расположена крупная свалка бытовых отходов, которая может быть одним из источников поступления в среду различных загрязнителей, в том числе и микропластика.

Целью исследований является оценка концентрации микропластика в окружающей среде Таганрога, изучение его морфологических, морфометрических характеристик, степени деградации, состава.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

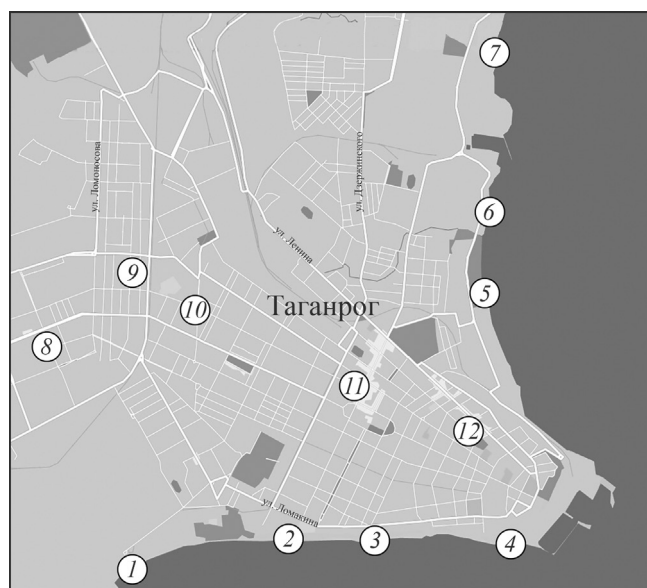
Отбор проб производили в прибрежной зоне Таганрога, на протяжении береговой линии около 20 км. В ходе исследования были установлены 7 станций и взяты пробы пляжевого песка (21 шт.), воды (14 шт.), донных отложений (7 шт.) и на 5 станциях – пробы аэрозолей (рис. 1).

Пробы песка отбирали в 3 точках: в верхней части пляжа, наиболее удаленной от волнового воздействия, на линии максимального штормового заплеска и на урезе воды, – в квадрате со сторонами 50 × 50 см, глубина взятия пробы составляла 1 см, манипуляции проводили металлической лопаткой. Образцы упаковывали в хлопковые пакеты с маркировкой.

Пробы воды отбирали в стеклянные бутылки объемом 1л на поверхности и в глубине Таганрогского залива, на расстоянии 20 м от берега.

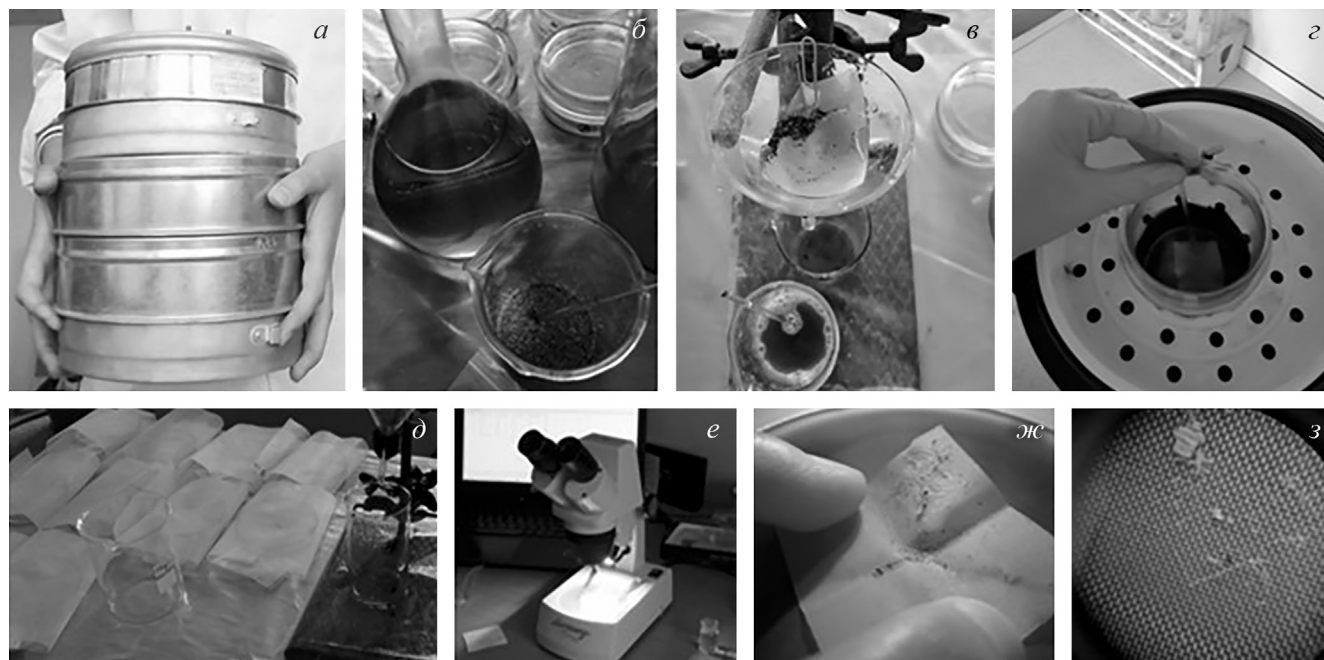
Так как Таганрогский залив имеет небольшие глубины, донные отложения отбирали ручным дночерпателем на глубине 40 см в пакеты из натуральных материалов (хлопок) с маркировкой.

Аэрозоли собирали посредством установки на высоте 5 м стеклянных кювет площадью 196 см<sup>2</sup> с



**Рис. 1.** Карта отбора проб. Береговая зона: 1 – Приморский пляж; 2 – пляж на ул. Ломокина; 3 – Центральный пляж; 4 – пляж «Богудония»; 5 – Солнечный пляж; 6 – пляж у аквапарка «Лазурный»; 7 – пляж санатория «Тополь»; аэрозоли: 8 – ул. С. Шило; 9 – ул. Сызранова; 10 – ул. Чехова, 353; 11 – ул. Чехова; 12 – пер. Некрасовский.

**Fig. 1.** Sampling map. Coastal zone: 1 – Primorskiy beach; 2 – beach on Lomakin street; 3 – Central beach; 4 – “Bogudonia” beach; 5 – Solnechnyy beach; 6 – beach at the “Lazurnyy” water park; 7 – beach of the “Topol” sanatorium); aerosols: 8 – S. Shilo street; 9 – Syzranov street; 10 – Chekhov street, 353; 11 – Chekhov street; 12 – Nekrasovskiy lane.



**Рис. 2.** Поэтапная обработка проб в лаборатории: *а* – просеивание; *б* – плотностное разделение; *в* – фильтрование; *г* – очистка от органического материала; *д* – сушка; *е-з* – идентификация с помощью микроскопа.

**Fig. 2.** Stepwise sample processing in the laboratory: *a* – screening; *б* – density separation; *в* – filtration; *г* – purification from organic material; *д* – drying; *е-з* – identification using a microscope.

дистиллированной водой, с частичной изолированностью от горизонтального переноса (защитой от ветра), время экспонирования составляло 24 часа.

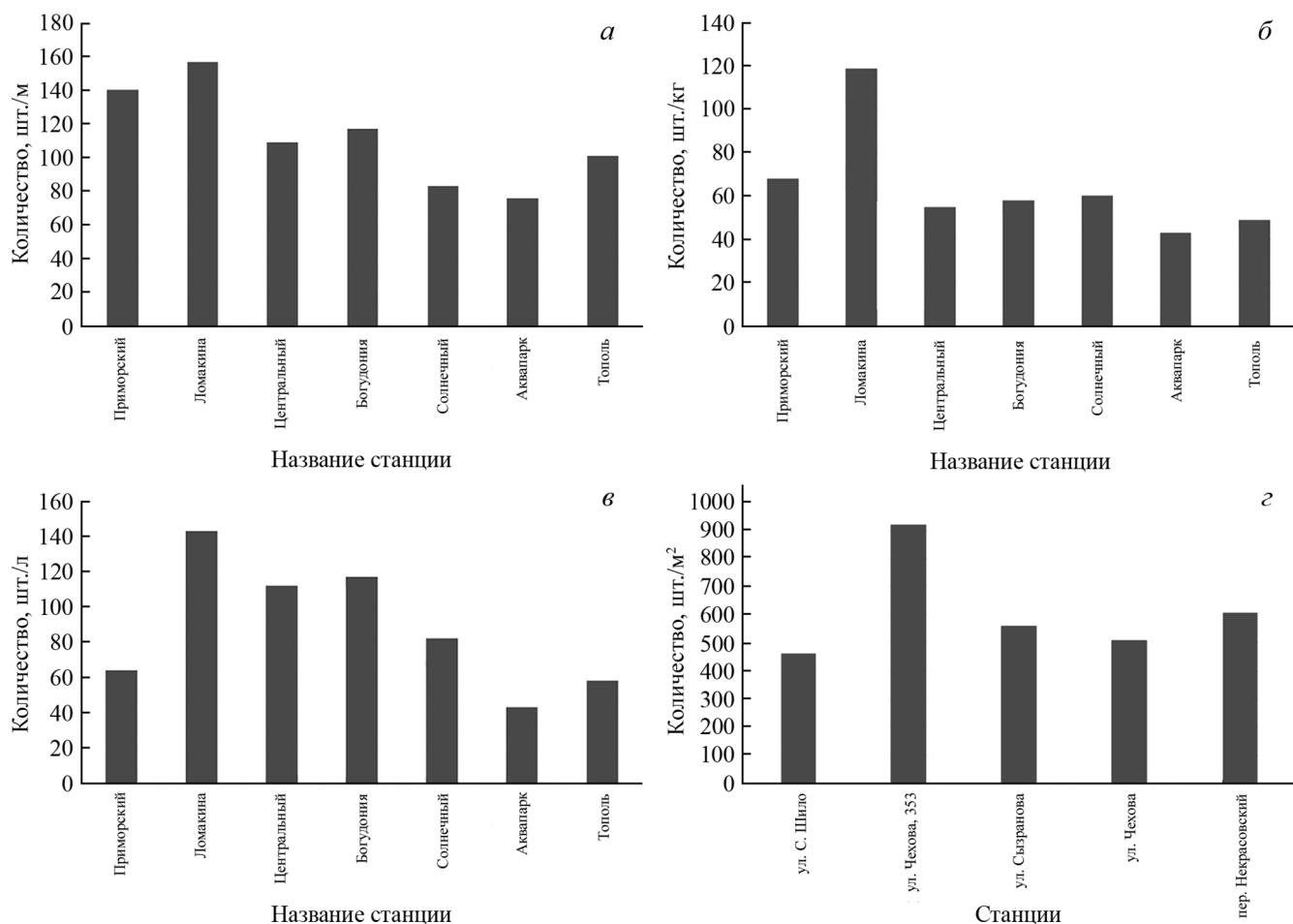
В лаборатории при дальнейшей обработке был применен модифицированный метод NOAA [2]. Пробы песка высушивали при комнатной температуре, взвешивали и далее подвергали плотностному разделению в растворе  $ZnCl_2$  (плотностью  $1,6 \text{ г/см}^3$ ). Следующие этапы являлись общими для всех видов проб: фильтрация через мелкоячеистую сетку (100 мкм), жидкое окисление посредством применения  $H_2O_2$  (30 %) с добавлением катализатора (Fe) при температуре  $75 \text{ }^\circ\text{C}$  для отделения пластика от органического материала, сушка очищенных проб. Обнаруженные на фильтрах в процессе визуальной сортировки частицы подвергали анализу по следующим параметрам: морфометрия и морфология, количество частиц в пробе, степень деградации и состав (рис. 2). Для исследований использовали следующие приборы: стереомикроскоп Микромед МС-1 вар. 2С Digital (для определения морфологических и морфометрических особенностей), растровый электронный микроскоп VEGA II LMU производства фирмы Tescan (с целью изучения степени деградации микропластика), ИК-Фурье спектрометр JASCO FT/IR-6800 (для исследования химического состава частиц; все спектры

были получены с разрешением  $4 \text{ см}^{-1}$  и соотнесены со спектральными библиотеками прибора для проверки типа полимера) в НИИ физики Южного федерального университета (Ростов-на-Дону, Россия).

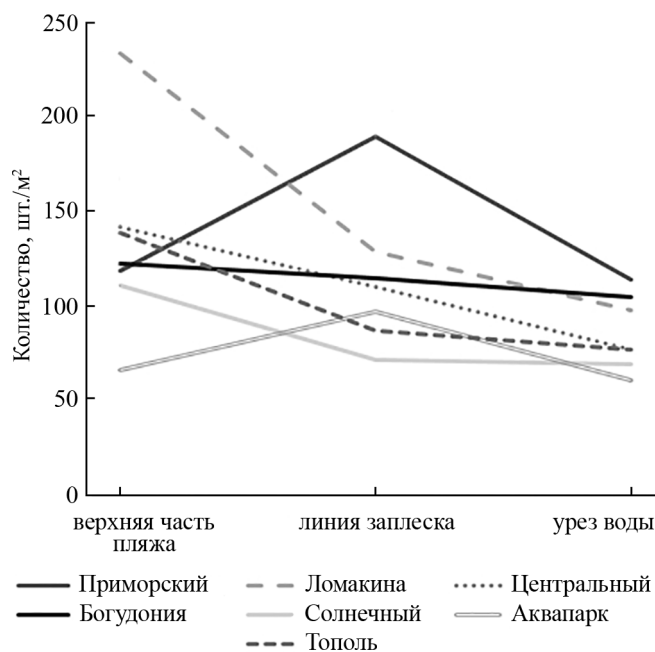
Размерный диапазон исследованных частиц микропластика составлял от 0,1 до 5 мм. Изучены следующие показатели: распределение частиц (в штуках) по станциям вдоль побережья города, размер частиц, морфологические особенности (форма и цвет), среднестатистические характеристики, частота встречаемости частиц по крупности. Произведен сравнительный анализ распределения микропластика в различных средах Таганрога.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

С помощью лабораторных исследований по идентификации микропластика было выявлено наличие этого техногенного компонента во всех пробах пляжевых и донных отложений, воды и аэрозолей. По полученным данным, среднее содержание микропластика на  $1 \text{ м}^2$  пляжа составляет 111 частиц (рис. 3), в донных отложениях – 83 шт./кг, в воде – 64 шт./л, в атмосферных выпадениях в течение суток в среднем оседает 612 частиц микропластика на  $1 \text{ м}^2$ .



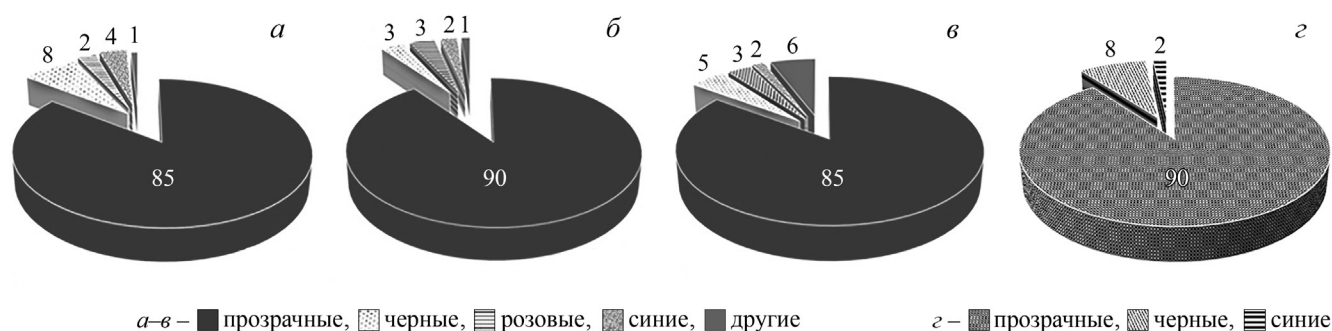
**Рис. 3.** Содержание частиц микропластика: *а* – в пляжевых отложениях; *б* – в донных осадках; *в* – в воде; *г* – в аэрозолях.  
**Fig. 3.** The content of microplastic particles: *a* – in coast sand; *б* – in bottom sediments; *в* – in water; *г* – in aerosols.



**Рис. 4.** Распределение микропластика по профилю пляжей.  
**Fig. 4.** Distribution of microplastics along the profile of coasts.

Самой загрязненной зоной оказалось побережье на ул. Ломакина: в пляжевых отложениях было обнаружено 154 шт./м<sup>2</sup>, в донных отложениях 145 шт./кг, в воде 119 шт./м<sup>2</sup>. В пределах этого участка побережья зафиксированы локальные свалки мусора, преимущественно бытового пластикового. Наименьшее количество частиц оказалось на искусственном пляже аквапарка «Лазурный» – в пляжевых отложениях обнаружено 75 шт./м<sup>2</sup>, в донных отложениях 47 шт./кг, в воде 47 шт./л. В аэрозолях наибольшее количество фрагментов микропластика оказалось в атмосферных выпадениях, собранных на ул. Чехова, – 918 шт./м<sup>2</sup> в сутки (рис. 3г).

В распределении микропластика по профилю пляжа отмечается наибольшее накопление частиц в верхней части пляжа и на линии заплеска, что, предположительно, может быть связано с гидродинамической составляющей и локальными свалочными очагами. Меньше всего фрагментов обнаружено на урезе воды (рис. 4).



**Рис. 5.** Цветовая гамма микропластика в окружающей среде Таганрога, %: а – в пляжевых отложениях; б – в донных отложениях; в – в воде; г – в аэрозолях.

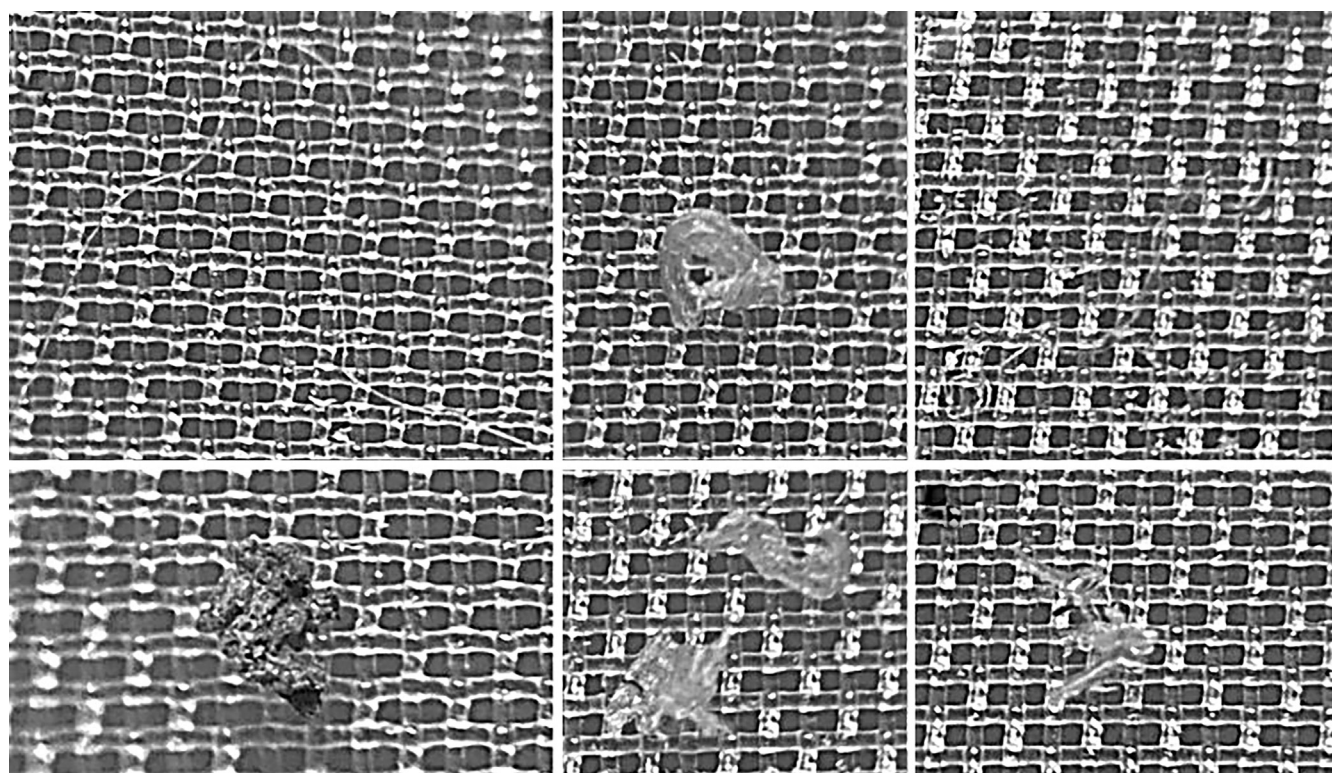
**Fig. 5.** Microplastics color scheme in the environment of Taganrog, %: а – in beach sediments; б – in bottom sediments; в – in water; г – in aerosols.

Анализ концентрации микропластика в донных отложениях Азовского моря показал, что прибрежная зона Таганрога имеет наиболее высокий уровень загрязнения донных осадков (145 шт./кг) по сравнению, например, с донными отложениями в районе Ейска (64 шт./кг), Приморско-Ахтарска (113 шт./кг), Темрюка (68 шт./кг). Очевидно, это связано с воздействием стока Дона и высоким уровнем антропогенной нагрузки в прибрежной зоне Таганрога [3].

Цветовое разнообразие частиц микропластика невелико: преобладают прозрачные фрагменты

(85–90 %), встречаются черные (3–8%), розовые (2–4%) и синие (2–3 %), а также отмечены желтые, зеленые, коричневые волокна и пленки (1–6 %) (рис. 5). Наиболее разнообразен микропластик на станции 1 (Приморский пляж, рис. 1), одной из самых загрязненных точек отбора.

Виды деградации пластика были исследованы с использованием растрового электронного микроскопа, который позволяет в результате увеличения частиц и их фотографирования определить характер разрушения. При обработке 11 типичных об-



**Рис. 6.** Разнообразие частиц микропластика в прибрежной зоне Таганрога.

**Fig. 6.** Diversity of microplastic particles in the coastal zone of Taganrog.

разцов микропластика были зафиксированы такие виды деградации, как расслаивание, растрескивание, раскосмачивание, расщепление, раскручивание и др. (рис. 6). Для пластика в виде нитей характерен процесс раскосмачивания, раскручивания и расщепления, пластик в форме пленки расслаивается, растрескивается, набухает.

При определении состава частиц было установлено, что в отобранных пробах преобладают 6 типов полимеров: акрил (АС), полиамид (нейлон) (РА), термопластичные полимеры (ТР), полиэтилен (РЕ), полиэстер (РЕТ) и полистирол (PS).

### ВЫВОДЫ

Проведенные исследования загрязненности микропластиком прибрежной зоны Таганрога показали, что частицы полимерных микроволокон присутствуют в 100 % проб пляжевых, донных отложений, воды и аэрозолей.

Концентрация частиц микропластика в образцах пляжевых отложений составила 111 шт./м<sup>2</sup>, в донных отложениях 83 шт./кг, в воде 64 шт./л. В распределении по профилю пляжа наблюдается накопление микроволокон в верхней и центральной частях, наименьшее количество обнаруживается на линии

уреза воды. Что касается содержания микропластика в воде, то наибольшее его количество было найдено на глубине.

По морфологическим и морфометрическим особенностям обнаруженные частицы характеризуются преобладанием волокон и пленок с небогатой цветовой гаммой, во всех пробах наблюдались прозрачные, черные, редко разноцветные (розовые, синие, коричневые, в единичных случаях желтые и зеленые).

Пластик активно разрушается и переходит к следующей стадии своего существования – нанопластику. Были выявлены такие виды деградации, как расслаивание, растрескивание, расщепление, раскосмачивание и набухание.

Установлено 6 разновидностей полимеров, присутствующих в Таганрогском заливе: акрил (АС), полиамид (нейлон) (РА), термопластичные полимеры (ТР), полиэтилен (РЕ), полиэстер (РЕТ) и полистирол (PS).

Таким образом, материалы исследования свидетельствуют о высоком уровне загрязнения окружающей среды Таганрога микропластиком, что указывает на необходимость постановки мониторинговых исследований и разработки рекомендаций по решению данной проблемы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багаев А.В., Вержевская Л.В., Литвинюк Д.А. 2020. Обзор исследований микропластика в России: море, пляжи, донные осадки. В кн.: *Моря России: исследования береговой и шельфовой зон: Тезисы докладов всероссийской научной конференции (г. Севастополь, 21–25 сентября 2020 г.)*. Севастополь, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН»: 226–227.
2. Зобков М.Б., Есюкова Е.Е. 2018. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов. *Океанология*. 58(1): 149–157. doi: 10.7868/S0030157418010148
3. Глушко А.Е., Беспалова Л.А., Беспалова Е.В., Картамышева Т.Б. 2021. Загрязнение микропластиком донных отложений Азовского моря. *Наука Юга России*. 17(2): 57–65. doi: 10.7868/S25000640210206

### REFERENCES

1. Bagaev A.V., Verzhetskaya L.V., Litvinyuk D.A. 2020. [Review of microplastics research in Russia: sea, beaches, bottom precipitation]. In: *Morya Rossii: issledovaniya beregovoy i shel'fovoy zon: Tezisy докладov vsrossiyskoy nauchnoy konferentsii*. [Seas of Russia: studies of coastal and shelf zones: Abstracts of reports of the All-Russian Scientific Conference (Sevastopol, Russia, 21–25 September 2020)]. Sevastopol, Marine Hydrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences: 226–227. (In Russian).
2. Zobkov M.B., Esiukova E.E. 2018. Microplastics in a marine environment: review of methods for sampling, processing, and analyzing microplastics in water, bottom sediments, and coastal deposits. *Oceanology*. 58(1): 137–143. doi: 10.1134/S0001437017060169
3. Glushko A.E., Bepalova L.A., Bepalova E.V., Kartamysheva T.B. 2021. [Microplastic contamination of bottom sediments of the Sea of Azov]. *Nauka Yuga Rossii*. 17(2): 57–65. (In Russian). doi: 10.7868/S25000640210206

Поступила 04.07.2022