

УДК 502/504
DOI: 10.7868/S25000640210206

ЗАГРЯЗНЕНИЕ МИКРОПЛАСТИКОМ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АЗОВСКОГО МОРЯ

© 2021 г. А.Е. Глушко¹, Л.А. Беспалова¹, Е.В. Беспалова¹, Т.Б. Картамышева²

Аннотация. Целью исследования является оценка концентраций, морфологических особенностей, размерного ряда частиц, степени и путей деградации, химического состава микропластика в донных отложениях Азовского моря. Было отобрано 27 проб донных отложений. Обработка проб проводилась по модифицированному методу NOAA. Проведенный анализ показал, что частицы данного загрязнителя присутствуют в 100 % проб. Концентрация частиц микропластика в образцах отложений из различных районов варьирует от 27 до 130 шт./кг сухого осадка при средних значениях 69 шт./кг. Выделены три зоны повышенного загрязнения донных грунтов: первая – восточная часть Таганрогского залива (80–97 шт./кг) – связана с воздействием Таганрога и стока р. Дон; вторая – Восточное Приазовье (70–130 шт./кг) – обусловлена влиянием стока р. Кубань; третья зона расположена в Керченском предпроливье – плуме черноморских вод (более 80 шт./кг). К акваториям с содержанием микропластика в донных осадках меньше средних значений относятся центральные районы моря, занятые мелкоалевритовым и пелитовыми илами, а также Казантипский и Арабатский заливы.

Морфологические особенности частиц исследованы с помощью стереомикроскопа Микромед МС-1 вар. 2С Digital. Во всех отобранных образцах преобладают полупрозрачные волокна и пленки. Исследование размерного состава микропластика показало, что самыми частыми по встречаемости в пробах являются частицы размером 0,4–0,5 мм, медиана размерного ряда составляла 0,6 мм. С помощью растрового электронного микроскопа VEGA II LMU определены виды деградации микропластика: растрескивание, расщепление, расслоения, разбухание и т.д.

При помощи ИК-Фурье спектрометра JASCO FT/IR-6800 установлено, что большая часть обнаруженных частиц по своему составу является акрилом, полиамидом (нейлон), термопластичными полимерами, полиэтиленом, полиэстером и полистиролом.

Ключевые слова: Азовское море, микропластик, донные отложения, морфологические и морфометрические характеристики, антропогенное воздействие.

MICROPLASTIC CONTAMINATION OF BOTTOM SEDIMENTS OF THE SEA OF AZOV

A.E. Glushko¹, L.A. Bepalova¹, E.V. Bepalova¹, T.B. Kartamysheva²

Abstract. This paper aims at assessment of microplastics concentrations in bottom sediments of the Sea of Azov, and research of morphological features, size of particles, level, ways of degradation (or destruction) of microplastics and its chemical composition. During the study, 27 samples of bottom sediments of the Sea of Azov were taken. The samples were processed using the modified method NOAA. The analysis showed pollutant presence in 100 % of the samples. The concentration of microplastics particles in sediment samples from different regions varies from 27 to 130 pcs/kg, with an average of 69 pcs/kg. Three zones of increased pollution of bottom sediments have been identified: the eastern part of the Taganrog Bay (80–97 pcs/kg), associated with the impact of the Don River runoff and the city of Taganrog, Eastern Priazovye (70–130 pcs/kg),

¹ 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. Зорге, 40, e-mail: arinaglushko01@gmail.com

² Азово-Черноморский филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (Azov-Black Sea branch of the Federal State Budget Scientific Institution “Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography”) Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Береговая, 21в

which is in the zone of influence of the Kuban River, the region of the Kerch pre-strait – the zone of influence of the Black Sea waters (more than 80 pcs/kg). The central areas of the sea bottom covered with fine-silt and pelitic silts as well as the waters of Kazantip and Arabat Bays are relatively clean, with a microplastic content less than the average values for the water area.

Morphological features of the particles were studied using a stereo microscope (Micromed MC-1 2C Digital). Translucent fibres and membranes prevailed in all the samples. Study of size showed that the most frequently observed are particles of 0.4–0.5 mm, the median of size range being 0.6 mm. Types of microplastics degradation were determined by using a scanning electron microscope (VEGA II LMU) in the form of fracturing, splitting, dissection, swelling, etc.

By means of a JASCO FT/IR-6800 FT-IR spectrometer, it was found that most of the detected particles consist of: acrylic, polyamide (nylon), thermoplastic polymers, polyethylene, polyester and polystyrene.

Keywords: Sea of Azov, microplastics, bottom sediments, morphological features, morphometric features, anthropogenic impact.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире пластиковые объекты используются во всех отраслях материального производства (промышленность, сельское хозяйство, транспорт и др.), в результате чего проблема загрязнения окружающей среды пластиком становится все более очевидной. В 2018 г. мировой объем выпуска пластика достиг 359 млн т, а в 2019 – 368 млн т [1]. В результате неправильной утилизации отходов большая часть таких материалов попадает в окружающую среду.

Под воздействием солнечного света, окисления или физического волнового воздействия и течений происходит деградация более крупных фрагментов с последующим образованием мелких частиц. Частицы пластика размером менее 5 мм называют микропластиком, который является объектом изучения многих современных исследований [2].

В настоящее время микропластик повсеместно встречается в морской среде [3], его наличие регистрируется как вблизи густонаселенных районов, так и в отдаленных регионах, а также на пляжах [4–6], в водной толще [7] и в глубоководных отложениях [8]. Однако на сегодняшний день наименее изученными являются именно донные отложения, в которых дрейфующий пластиковый мусор и непосредственно микропластик, как правило, накапливаются далеко от побережий [9]. В предыдущих наших исследованиях были выполнены оценки уровня накопления микропластика в пляжевых отложениях [5] и аэрозолях [10] Азовского моря. Изучение особенностей пространственного распределения микропластика в донных отложениях закладывает основу для понимания общей картины загрязнения Азовского моря и выявления источников поступления пластика в акваторию.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Пробы донных отложений были отобраны на 27 станциях в акватории Азовского моря в июле 2020 г. (рис. 1). В период отбора проб преобладала ясная погода с умеренным северо-восточным ветром (до 10 м/с), температура воздуха варьировала в пределах 22–28 °С. Пробы (объемом 3 л каждая) отбирали с помощью дночерпателя Петерсена с глубин от 3,4 до 12,3 м. Образцы перевозили в ведрах и хлопковых мешках, а затем в лаборатории переносили в лабораторную посуду. Для дальнейшей обработки образцы гомогенизировали посредством перемешивания фарфоровой ложкой. После перемешивания первый образец массой 500 г использовали для последующего анализа, а второй образец массой 500 г – для определения гранулометрического состава каждой из проб.

При проведении лабораторных анализов на содержание микропластика применяли методы Национального управления океанических и атмосферных исследований для количественного определения синтетических частиц в донных отложениях (NOAA) [11]. Этот метод включает в себя следующие этапы: просеивание, сушка, разделение по плотности, окисление органических веществ, фильтрация и визуальная оценка [11; 12].

Для определения микропластика в лабораторных условиях был применен модифицированный метод NOAA, включающий в себя следующие этапы: экстракция, очистка проб от органического материала, плотностное разделение, фильтрование, сушка и идентификация микропластика с помощью микроскопа [8; 11].

Первый этап анализа – экстракция – был применен для отделения более тяжелых фракций донных отложений от более легких частиц пла-

стика и органики посредством помещения пробы в насыщенный раствор $ZnCl_2$ (удельная плотность 1,6 г/мл) и его перемешивания в течение 10 минут фарфоровой ложкой. После 1 ч отстаивания образец отфильтровывали через фильтровальную воронку, изготовленную из стеклянной воронки диаметром 150 мм и фильтра с размером ячеек 0,100 мм, закрепленного скрепкой [8; 11]. В результате все всплывшие твердые частицы оставались на фильтре. Стенки химического стакана, в котором ранее находилась проба, трижды промывали раствором $ZnCl_2$, после чего фильтр промывали дистиллированной водой, чтобы смыть разделительный раствор. Фильтр с твердыми частицами переносили в химический стакан объемом 600 мл для дальнейшей обработки.

Для очищения образца от органического материала проводили его окисление с использованием 25 мл H_2O_2 (30 %) и 25 мл раствора катализатора Fe(II), добавленных в химический стакан с твердыми частицами. Далее стакан помещали в водяную баню и нагревали при температуре 75 °С. После полного растворения органического вещества химический стакан с образцом снимали с водяной бани, и для растворения раковин мидий, обнаруженных в некоторых пробах, в химический стакан добавляли 25 мл 4,5%-го раствора HCl. Затем образец накрывали алюминиевой фольгой для предотвращения искусственного загрязнения и отстаивали 12 ч, а после снова пропускали через фильтр с размером ячеек 0,100 мм.

Следующим этапом было отделение частиц пластика от оставшихся частиц грунта при помощи сепаратора плотности, изготовленного из стеклянной воронки и латексной трубки с прикрепленным на дне зажимом для контроля потока жидкости из воронки [8; 11]. На данном этапе также был использован раствор $ZnCl_2$. После 1 ч отстаивания осадок и нижнюю половину раствора сливали с удалением осевших на дно твердых частиц. Оставшиеся всплывшие частицы сливали на фильтр. Все стенки сепаратора и трубку трижды промывали дистиллированной водой, которую сливали на фильтр [11; 12]. Плавающие твердые частицы сливали в фильтрующую воронку. Чтобы не пропустить плавающие частицы, приставшие к стенкам сепаратора, их дважды промывали 0,5 л дистиллированной воды, после чего фильтр помещали на чашку Петри и сушили при комнатной температуре под трехслойной мелкоячеистой сеткой с размером ячеек 100 мкм в течение 24 ч.

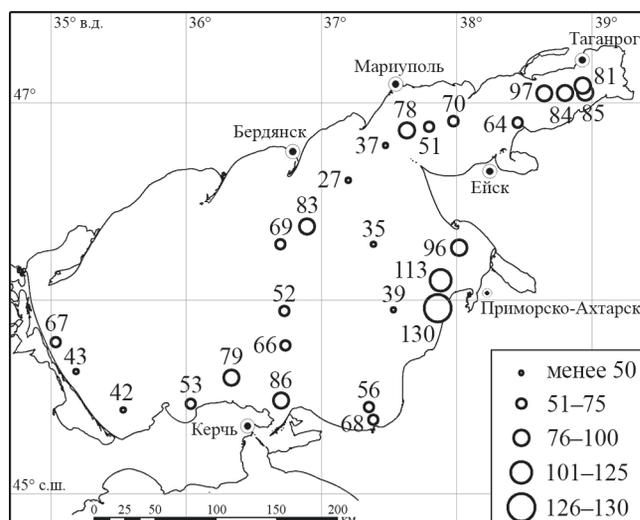


Рис. 1. Содержание частиц микропластика в донных отложениях Азовского моря (штг./кг).

Fig. 1. Microplastic contents in bottom sediments of the Sea of Azov (pcs/kg).

После полного высыхания частиц на фильтре обнаруженный в образцах микропластик исследовали с помощью стереоскопического микроскопа Микромед МС-1 вар. 2С Digital с увеличением от 20× до 40× на поверхности фильтра и вручную описывали характеристики частиц (размер, цвет, форма, количество). Форма обнаруженных частиц была разделена на 3 группы: волокна (тонкие пластиковые нити), фрагменты (твердые отколовшиеся частицы), пленки (тонкие двухмерные пластиковые пленки). По цвету частицы были разделены на 4 категории: прозрачные, черные, синие и другие (желтые, зеленые, розовые, фиолетовые, белые и др.) Все характеристики обнаруженных частиц фиксировали для каждого образца.

Для предотвращения искусственного загрязнения пробы использовалась лабораторная одежда из хлопка, а материалы, применяемые для анализа – из стекла, фарфора или нержавеющей стали. Во время экспериментов окна лаборатории оставались закрытыми.

Для более детального изучения деградации различных обнаруженных фрагментов микропластика часть образцов подверглась электронно-зондовому исследованию, выполненному с использованием растрового электронного микроскопа VEGA II LMU производства фирмы Tescan.

Так как микропластик нельзя полностью и точно идентифицировать только визуальным наблюдением [13], в нашем исследовании для определения типов полимеров были проанализированы об-

наруженные частицы микропластика, являющиеся репрезентативными в каждой группе, с помощью ИК-Фурье спектрометра JASCO FT/IR-6800. Все спектры были получены с разрешением 4 см⁻¹ и идентифицированы по спектральным библиотекам прибора для проверки типа полимера.

Для определения взаимосвязи между типом осадка и содержанием в нем микропластика проведен гранулометрический анализ на лазерном дифракционном анализаторе частиц «SALD-201V».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Пространственное распределение микропластика в донных отложениях. Частицы микропластика были обнаружены во всех 27 образцах донных отложений Азовского моря в количестве 1851 шт.

Содержание микропластика в донных осадках варьировало от 27 до 130 частиц на 1 кг сухого осадка (рис. 1) при среднем содержании 69 шт./кг. В пространственном распределении микропластика заметно увеличение его концентраций от центра моря к прибрежным зонам, что может указывать на источники поступления (рис. 1). Определяются три зоны повышенного загрязнения донных грунтов. Первая – это восточная часть Таганрогского залива (80–97 шт./кг), которая связана с воздействием Таганрога и стока р. Дон. Вторая – Восточное Приазовье (70–130 шт./кг), где загрязнение обусловлено влиянием стока

р. Кубань, а также наличием здесь городов-курортов, таких как Приморско-Ахтарск и Ейск. Третья зона фиксируется в Керченском предпроливье (более 80 шт./кг) – в районе плюма черноморских вод. К относительно чистым, с содержанием микропластика меньше средних для акватории значений (69 шт./кг), относятся центральные районы моря, занятые мелкоалевритовым и пелитовыми илами, и акватории Казантипского и Арабатского заливов (рис. 1).

Морфологические особенности обнаруженных частиц. Среди идентифицированных частиц (1851 шт.) нитевидные волокна были наиболее часто наблюдаемой формой микропластика. На их долю приходится 92,65 % от общего числа частиц, следующими по частоте встречаемости были пленки (6,1 %) и обломочные фрагменты более крупного пластика (1,25 %). Первичный пластик в виде гранул обнаружен не был.

Цветовая гамма микропластика также не отличается разнообразием – преобладают прозрачные и черные частицы, 90 и 7,5 % соответственно (рис. 2). Тем не менее встречаются и синие (0,5 %), белые, красные, желтые, розовые, фиолетовые частицы, но на их долю приходится в целом около 2 % частиц (рис. 2).

Из всех просмотренных проб наиболее разнообразен микропластик (как по цвету, так и по морфологическим особенностям) в донных отложениях Восточного Приазовья, а также в зоне Керченского предпроливья, то есть там, где он был обнаружен в наибольших количествах.

Анализ размерного ряда микропластика показал, что 32,12 % обнаруженных частиц имеют размер 0,4–0,5 мм (рис. 3). Наиболее крупные частицы размером 1,2 и 3,1 мм составляют от 1,5 до 0,05 % от общего количества частиц соответственно.

Получены среднестатистические характеристики ряда частиц микропластика: среднее арифметическое значение ряда (\bar{x}), мода (M_o) и медиана (M_c) ряда и стандартное отклонение (σ) (табл. 1).

Анализ таблицы показывает, что высокие концентрации микропластика могут быть в любых типах донных осадков. Однако чаще всего сильно загрязнены алевритовые осадки и пески, то есть грунты, залегающие ближе к берегу (табл. 1).

Средний размер (\bar{x}) частиц микропластика достигает 0,6 мм при стандартном отклонении (σ) 0,4 мм. Самые часто встречающиеся частицы (M_o) – 0,4 мм, медиана (M_c) ряда составляет 0,6 мм. Самые крупные частицы микропластика ($M_o = 0,7–0,8$ мм)

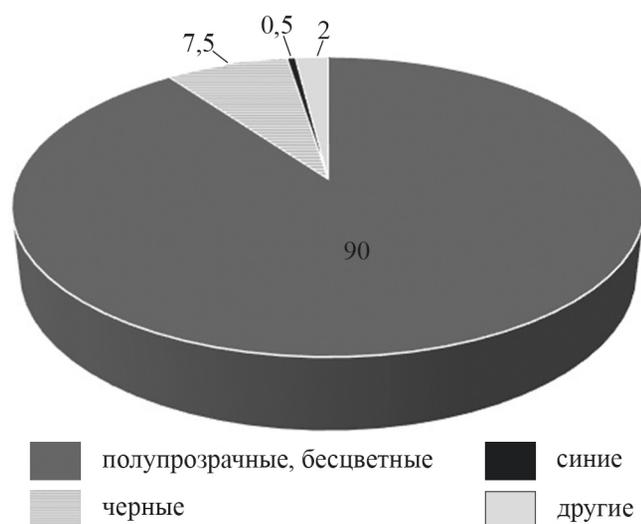


Рис. 2. Цветовая гамма микропластика в донных отложениях Азовского моря, %.

Fig. 2. Colour range of microplastics in bottom sediments of the Sea of Azov, %.

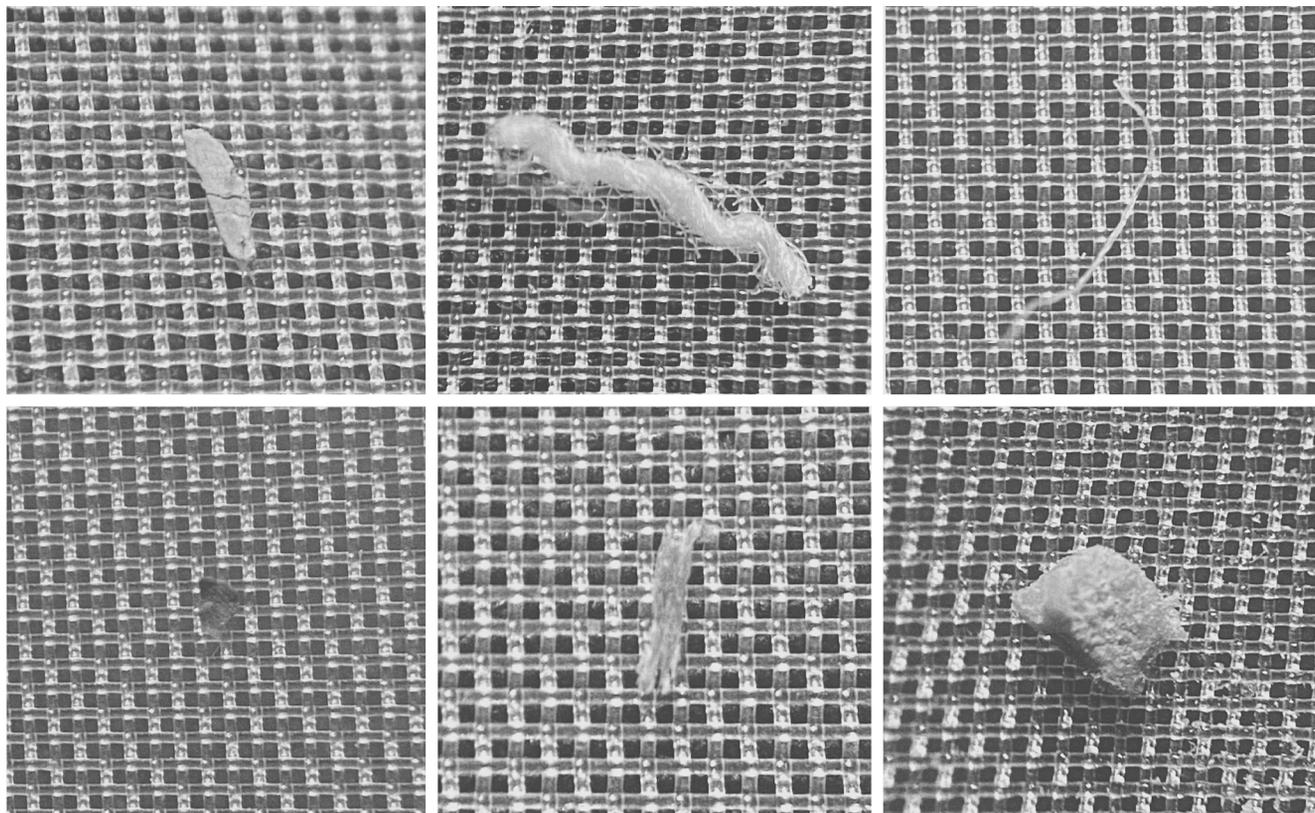


Рис. 3. Морфология и цвет обнаруженных частиц (фото со стереомикроскопа Микромед МС-1 вар. 2С Digital).
 Fig. 3. Morphology and colour of detected particles (stereo microscope photo on Micromed MC-1 var. 2C Digital).

обнаружены на глубоководье в центральных районах моря, так как на больших глубинах гидродинамика ослаблена и фактор механического воздействия на пластик снижается (рис. 4).

Виды деградации пластика были исследованы с использованием растрового электронного микроскопа VEGA II LMU, который посредством многократного увеличения позволяет определить, на какой стадии разрушения находится пластик и в каком виде это разрушение происходит. В результате обработки 17 типичных образцов были выявлены такие виды деградации, как расслаивание, растрескивание и расщепление и др. Для пластика в виде нитей характерен процесс раскосмачивания и расщепления, пластик-пленки расслаиваются, растрескиваются и набухают (рис. 5).

Идентификация микропластика с помощью м-FT-IR. Выбранные группы образцов со всех 27 станций исследовались при помощи ИК-Фурье спектрометра JASCO FT/IR-6800. Так как 90 % всех обнаруженных частиц представляют собой прозрачные волокна и пленки, в первую очередь определяли их состав как подобных. Затем исследовали редко встречающиеся экземпляры. Всего было идентифицировано шесть типов полимеров: акрил,

полиамид (нейлон), термопластичные полимеры, полиэтилен, полиэстер и полистирол (рис. 6).

Только те спектры, которые совпадают со спектрами библиотеки прибора более чем на 80%, были включены в результат (рис. 6).

Состав обнаруженного микропластика позволяет утверждать, что основными продуктами, из которых он образовался, являются одежда из полиэстера, акрила, а также упаковочный материал, пластиковые бутылки, пакеты, одноразовая посуда, рыболовные сети, строительные материалы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенные исследования донных осадков показали, что частицы микропластика присутствуют в 100 % проб. Концентрация частиц микропластика в образцах отложений из различных районов варьирует от 27 до 130 шт./кг при средних значениях 69 шт./кг.

2. С помощью пространственного анализа выявлены три зоны высоких концентраций микропластика: восточная часть Таганрогского залива (80–97 шт./кг), которая связана с воздействием Таганрога и стока Дона; Восточное Приазовье (70–130 шт./кг) в зоне влияния стока р. Кубань;

Таблица 1. Размеры обнаруженных частиц микропластика и тип донных осадков
Table 1. Size of detected microplastic particles and sediments types

Станция / Station	Координаты станции Coordinates of the station		Глубина, м Deep, m	Тип осадка Type of sediment				Количество частиц, шт. Quantity MP, pcs	Среднестатистические значения ряда, мм / Statistical averages, mm			
	N	E		Пелиты / Pelite <0,01	Алевритово-глинистые илы / Silts 0,01–0,05	Алевриты / Aleurite 0,05–0,1	Пески / Sand >0,1		x^{-1}	M_0	M_c	(σ)
1	45°29'3"	36°42'8"	10,4	41	18	41		86	0,6	0,4	0,5	0,3
2	45°28'2"	36°02'3"	9,3	5	8	31	55	53	0,6	0,4	0,5	0,2
3	45°26'4"	35°32'1"	9,2	55	15	30		42	0,7	0,7	0,7	0,5
4	45°38'1"	35°11'5"	9,0	21	9	21	50	43	0,6	0,4	0,5	0,3
5	45°47'4"	35° 02'7"	9,0	36	17	47		67	0,6	0,4	0,6	0,3
6	46°22'33.2"	36°53'34.8"	12,0	48	12	40		83	0,7	0,7	0,6	0,4
7	46°36'41.6"	37°11'55.3"	11,0	4	3	4	89	27	0,5	0,5	0,5	0,2
8	46°47'11.5"	37°28'29"	7,6	6	7	34	53	37	0,4	0,4	0,4	0,2
9	46°51'43.8"	37°37'58.9"	6,8	17	11	59	13	78	0,6	0,2	0,6	0,4
10	46°52'52.1"	37°47'44.9"	6,5	36	19	45		51	0,5	0,4	0,4	0,2
11	46°54'35.7"	37°58'31.6"	6,9	40	14	46		70	0,7	0,4	0,6	0,4
12	46°54'9"	38°27'4"	4,0	41	14	45		64	0,6	0,8	0,7	0,3
13	47°2'56.4"	38°38'56.4"	4,0	20	13	67		97	0,7	0,5	0,6	0,4
14	47°03'3"	38°48'2"	4,0	10	13	77		84	0,6	0,5	0,5	0,3
15	47°03'6"	38°57'4"	3,5	15	12	73		85	0,6	0,5	0,4	0,3
16	47°5'17.5"	38°55'51.4"	3,4	34	11	36	19	81	0,6	0,4	0,5	0,2
17	46°16'7"	38°01'7"	6,8	44	16	40		96	0,7	0,7	0,7	0,5
18	46°17'7"	37°23'0"	8,2		2	7	91	35	0,5	0,2	0,4	0,3
19	45°06'8"	37°53'0"	7,2	6	3	18	74	113	0,7	0,5	0,6	0,5
20	45°57'37.6"	37°51'37"	6,5			4	96	130	0,7	0,3	0,6	0,6
21	45°23'2"	37°23'1"	12,3	33	18	49		68	0,6	0,4	0,5	0,4
22	45°27'3"	37°21'7"	11,0	35	30	35		56	0,5	0,4	0,5	0,2
23	46°17'9.5"	36°41'50.9"	11,5	60	13	27		69	0,7	0,5	0,5	0,4
24	45°56'38.2"	36°43'36.4"	12,0	60	15	25		52	0,8	0,5	0,6	0,5
25	45°46'6"	36°44'2"	12,0	15	11	26	48	66	0,7	0,4	0,6	0,5
26	45°36'8"	36°20'7"	12,0	45	23	32		79	0,6	0,5	0,5	0,3
27	45°57'3"	37°32'0"	10,8	1	2	7	90	39	0,5	0,2	0,5	0,3

Керченское предпроливье (более 80 шт./кг) – район плюма черноморских вод. Высокие концентрации микропластика обнаружены во всех типах донных осадков. Однако чаще всего сильно загрязнены алевритовые осадки и пески.

3. Морфологические и морфометрические особенности обнаруженных частиц характеризуются преобладанием волокон (92,65%) и пленок (6,1%) с небогатой цветовой гаммой: полупрозрачные бесцветные, черные, но встречаются и разноцветные, окрашенные частицы микропластика (около 2%). Средний размер микропластика составляет 0,6 мм, но чаще встречающиеся – 0,4 мм, медиана ряда – 0,6 мм.

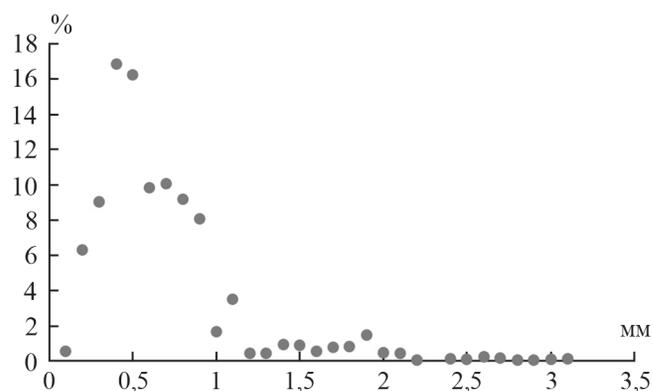


Рис. 4. Распределение частиц микропластика по крупности.
Fig. 4. Microplastics particles size distribution.

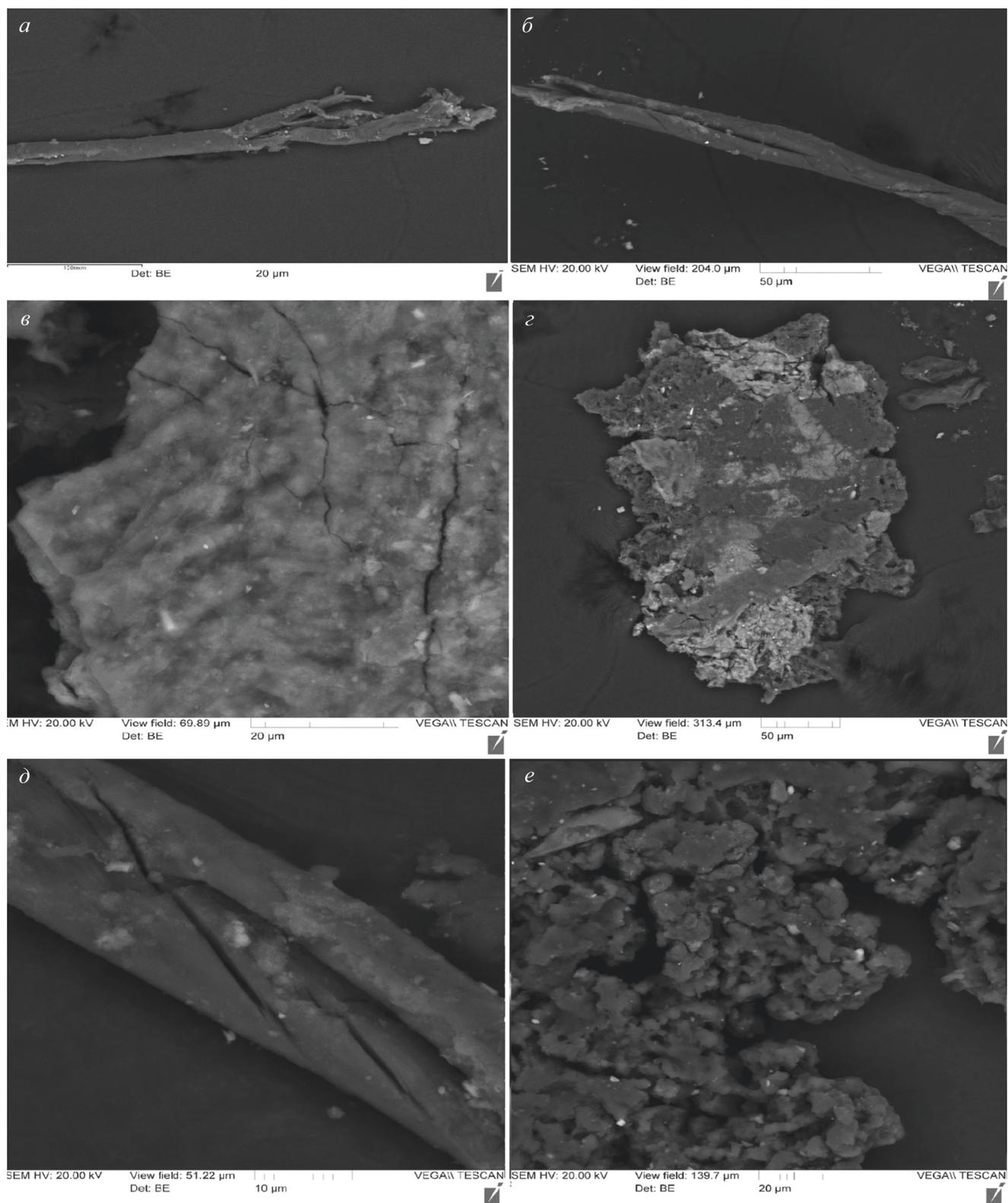


Рис. 5. Виды деградации частиц микропластика (фото с растрового электронного микроскопа VEGA II LMU производства фирмы Tescan): *a* – раскосмачивание, *б* – расщепление, *в* – растрескивание, *г* – расслаивание, *д* – растрескивание, *е* – набухание.

Fig. 5. Types of degradation of microplastics particles (VEGA II LMU scanning electron microscope photo): *a* – disheveling, *б* – splitting, *в* – fracturing, *г* – dissection, *д* – fracturing, *е* – swelling.

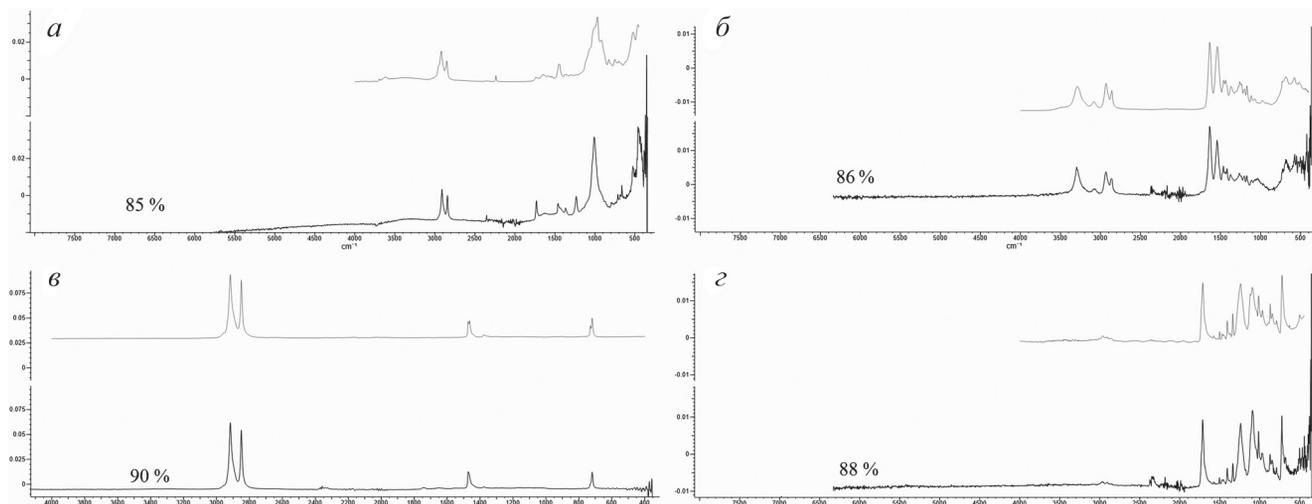


Рис. 6. Идентификация микропластика с помощью м-FT-IR. Состав обнаруженных частиц: *а* – акрилонитрил, *б* – нейлон, *в* – полиэтилен, *з* – полиэстер. Значения в скобках указывают на совпадение спектров с библиотекой прибора.
Fig. 6. Identification of microplastics in sediments using m-FTIR. Composition of detected particles: *a* – acrylonitrile, *б* – nylon, *в* – polyethylene, *з* – polyester. Values in brackets indicate the matches of the spectra with the spectrum library.

4. В результате исследований типичных образцов были выявлены такие виды деградации микропластика, как расслаивание, растрескивание, расщепление, раскосмачивание и набухание. Все эти процессы приводят к измельчению частиц и их переходу в нанопластик.

5. Идентификацией микропластика с помощью FT-IR установлено шесть разновидностей полимеров, присутствующих в донных осадках Азовского моря: акрил, полиамид (нейлон), термопластичные полимеры, полиэтилен, полиэстер и полистирол.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают свою благодарность и признательность Ю.В. Попову, руководителю «Цен-

тра исследований минерального сырья и состояния окружающей среды» Южного федерального университета (ЮФУ), за помощь в исследовании частиц микропластика на растровом электронном микроскопе VEGA II LMU; С.Б. Зайченко, научному сотруднику Центра коллективного пользования (ЦКП) «Молекулярная спектроскопия» на базе НИИ физической и органической химии ЮФУ за помощь в исследовании частиц микропластика на ИК-Фурье спектрометре JASCO FT/IR-6800.

Работа выполнена в рамках научного проекта РФФИ № 18-05-80082 по теме «Закономерности формирования опасных береговых процессов в Азовском море и социально-экономические последствия их проявлений».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Plastics – the Facts 2020. *PlasticsEurope*. URL: <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/4312-plastics-facts-2020> (дата обращения: 15.04.2021).
2. Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson R.C., Thiel M. 2012. Microplastics in the Marine Environment: a Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science and Technology*. 46(6): 3060–3075. doi: 10.1021/es2031505
3. Eriksen M., Lebreton L.C.M., Carson H.S., Thiel M., Moore C.J., Borroero J.C., Galgani F., Ryan P.G., Reisser J. 2014. Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE*. 9(12): e111913. doi: 10.1371/journal.pone.0111913
4. Есюкова Е.Е., Чубаренко И.П. 2018. Особенности распределения микропластика на песчаных пляжах Калининград-
- ской области (Балтийское море). *Региональная экология*. 1(51): 108–121. doi: 10.30694/1026-5600-2018-1-108-121
5. Глушко А.Е., Беспалова Л.А. 2021. Микропластик в пляжевых отложениях Азовского моря: морфологические и морфометрические особенности. *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря*. 1: 99–110. doi: 10.22449/2413-5577-2021-1-99-110
6. Глушко А.Е., Беспалова Л.А., Петько А.В., Шехурдин Г.Г. 2020. Загрязнение пляжей и прибрежных вод Азовского моря микропластиком. В кн.: *Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явления и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов («Опасные явления – II»): Материалы II Международной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 6–10 июля 2020 г.)*. Ростов н/Д, изд-во ЮНЦ РАН: 154–157.

7. Bagaev A., Mizyuk A., Khatmullina L., Isachenko I., Chubarenko I. 2017. Anthropogenic fibres in the Baltic Sea water column: field data, laboratory and numerical testing of their motion. *Science of the Total Environment*. 599–600: 560–571. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.185
8. Zobkov M., Esiukova E. 2017. Microplastics in Baltic bottom sediments: quantification procedures and first results. *Marine Pollution Bulletin*. 114: 724–732. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.10.060
9. Chunfang Zhang, Hanghai Zhou, Yaozong Cui, Chunsheng Wang, Yanhong Li, Dongdong Zhang. 2019. Microplastics in offshore sediment in the Yellow Sea and East China Sea, China. *Environmental Pollution*. 244: 827–833. doi: 10.1016/j.envpol.2018.10.102
10. Анциферова М.А., Глушко А.Е. 2021. Загрязнение микропластиком атмосферы г. Таганрог. *Общество*. 1(20): 65–69.
11. Masura J., Baker J., Foster G., Arthur C. 2015. *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for Quantifying Synthetic Particles in Waters and Sediments*. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48. Silver Spring, NOAA Marine Debris Division: 31 p.
12. 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
13. Silva A.B., Bastos A.S., Justino C.I.L., da Costa J.P., Duarte A.C., Rocha-Santos T.A.P. 2018. Microplastics in the environment: challenges in analytical chemistry – a review. *Analytica Chimica Acta*. 1017: 1–19. doi: 10.1016/j.aca.2018.02.043
- features. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*. 1: 99–110. (In Russian). doi: 10.22449/2413-5577-2021-1-99-110
6. Glushko A.E., Bespalova L.A., Pet'ko A.V., Shekhurdin G.G. 2020. [Microplastics pollution of beaches and coastal waters of the Sea of Azov]. In: *Zakonomernosti formirovaniya i vozdeystviya morskikh, atmosferykh opasnykh yavleniya i katastrof na pribrezhnuyu zonu RF v usloviyakh global'nykh klimaticheskikh i industrial'nykh vyzovov* (“Opasnye yavleniya – II”): *Materialy II Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii pamyati chlena-korrespondenta RAN D.G. Matishova* (g. Rostov-na-Donu, 6–10 iyulya 2020 g.). [Regularities of Formation and Impact of Marine and Atmospheric Hazardous Phenomena and Disasters on the Coastal Zone of the Russian Federation under the Conditions of Global Climatic and Industrial Challenges (“Dangerous Phenomena – II”) in memory of Corresponding Member RAS D.G. Matishov: Proceedings of the International Scientific Conference (Rostov-on-Don, Russia, 6–10 July 2020)]. Rostov-on-Don, Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences: 154–157. (In Russian).
7. Bagaev A., Mizyuk A., Khatmullina L., Isachenko I., Chubarenko I. 2017. Anthropogenic fibres in the Baltic Sea water column: field data, laboratory and numerical testing of their motion. *Science of the Total Environment*. 599–600: 560–571. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.185
8. Zobkov M., Esiukova E. 2017. Microplastics in Baltic bottom sediments: quantification procedures and first results. *Marine Pollution Bulletin*. 114: 724–732. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.10.060
9. Chunfang Zhang, Hanghai Zhou, Yaozong Cui, Chunsheng Wang, Yanhong Li, Dongdong Zhang. 2019. Microplastics in offshore sediment in the Yellow Sea and East China Sea, China. *Environmental Pollution*. 244: 827–833. doi: 10.1016/j.envpol.2018.10.102
10. Antsiferova M.A., Glushko A.E. 2021. [Microplastic pollution of atmosphere in Taganrog]. *Obshchestvo*. 1(20): 65–69. (In Russian).
11. Masura J., Baker J., Foster G., Arthur C. 2015. *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for Quantifying Synthetic Particles in Waters and Sediments*. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48. Silver Spring, NOAA Marine Debris Division: 31 p.
12. 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
13. Silva A.B., Bastos A.S., Justino C.I.L., da Costa J.P., Duarte A.C., Rocha-Santos T.A.P. 2018. Microplastics in the environment: challenges in analytical chemistry – a review. *Analytica Chimica Acta*. 1017: 1–19. doi: 10.1016/j.aca.2018.02.043

REFERENCES

Поступила 19.04.2021