

КОНТРОЛЬ МИКРОПЛАСТИКОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН СЕВАСТОПОЛЬСКОГО РЕГИОНА

Е.Н. Сибирцова, А.В. Темных, М.И. Силаков

Федеральное государственное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН»,
РФ, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2
E-mail: elenasibircova@yandex.ru

Проведено исследование концентрации микропластикового загрязнения (МЗ) в донных отложениях акваторий, примыкающих к зонам рекреаций (ЗР) Севастопольского региона в 2018–2020 гг. Зарегистрирован прирост МЗ практически во всех районах. Средние величины концентрации МЗ составляли 13,4 ед. · кг⁻¹ сухого веса. По форме частиц микропластика (МП) доля фрагментов была максимальна (50–83%), также многочисленны были волокна (33%). Существенный прирост концентрации МЗ на отрезке 0–20 м подводного берегового склона от уреза воды отмечен в районах с открытой акваторией и наличием клифа. Выявленный уровень МЗ сопоставим с таковым в Средиземном, Каспийском, Балтийском морях, но на порядок ниже, чем в других регионах Мирового Океана.

Ключевые слова: микропластик, пластиковый мусор, подводный береговой склон, акватория, пляжи, Чёрное море.

Поступила в редакцию: 12.09.2021. После доработки: 15.11.2021.

Введение. Туристско-рекреационные зоны, априори являющиеся местами для отдыха и лечения, в последние годы стали по всему миру объектом исследования аккумуляции МП – нового поллютанта, способного адсорбировать токсические вещества (полиароматические углеводороды, пестициды, инсектициды и др.) из морской среды [1 и др.], проникать и переноситься по пищевой цепи к конечному звену – человеку [2, 3]. На основании этого МЗ возведено в ранг основных глобальных проблем из-за высокой степени непредсказуемости угроз для биосферы [4].

Большое количество работ посвящено исследованию качественно-количественных характеристик МП, обнаруженного в пляжных отложениях зон рекреации (ЗР) [5–7 и др.], в том числе, такие работы впервые для Крымского региона проводились и авторами данной статьи [6].

Однако аналогичных исследований в донных отложениях акваторий, примыкающих к ЗР, сравнительно мало [8–13]. Таким образом, остается нераскрытым вопрос о количестве МП в донных отложениях мелководной части ЗР.

Поэтому цель данной статьи – определить основные тенденции изменения концентрации МЗ в донных отложениях акваторий, примыкающих к ЗР Севастопольского региона за два года (2018 – 2020 гг.) и выяснить возможность влияния локальных условий пляжей на исследуемые показатели МЗ.

Материалы и методы. Материалом для работы послужили данные собственных исследований концентрации МЗ в донных отложениях семи пляжей Севастопольского региона летом 2018 и 2020 гг. Исследования проводились в штилевую погоду.

Объектами исследования были выбраны популярные пляжи, расположенные в окрестностях Севастополя и оборудованные соответствующей инфраструктурой: тентовыми площадками, пунктами спасения, душевыми, туалетами, аттракционами и т. п. Эти пляжи были обозначены как «зоны рекреации» (ЗР1–ЗР5). В качестве КР были выбраны два района с морфологией берега, удобной для захода в воду, но с отсутствием какой-либо инфраструктуры и массового потока отдыхающих. Эти районы были обозначены как «контрольные районы» (КР1 и КР2) (рис. 1).

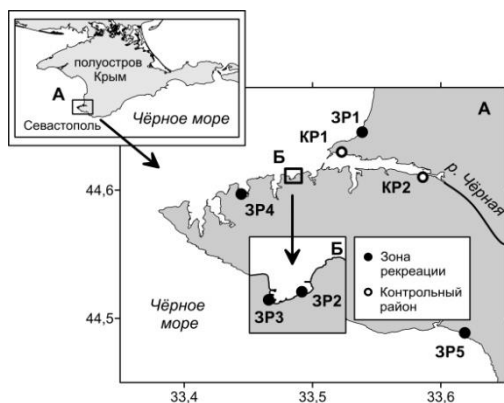


Рис. 1. Районы проведения исследований

Fig. 1. Study areas

При выборе точек отбора проб на каждом пляже использовали методику, подробно описанную в работе [14]. На отрезке пляжа, как правило, в центральной его части, перпендикулярно профилю пляжа проводили воображаемую линию – трансекту в направлении «урез воды-акватория». С помощью рулетки на подводном береговом склоне по линии трансекты отмечали четыре точки отбора донных отложений T_1 , T_2 , T_3 и T_4 на расстоянии 2,0; 10,0; 20,0 и 50,0 м от уреза воды, соответственно. Грунт отбирался водолазом при помощи ручного дночерпателя с площадью захвата $0,04 \text{ м}^2$ в двух повторностях (рис. 2).

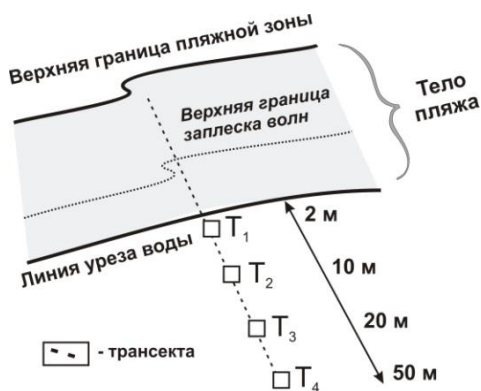


Рис. 2. Схема размещения точек отбора проб

Fig. 2. Sampling scheme

Отбор донных отложений осуществляли на глубину до $5,0 \pm 0,5$ см. Пробы упаковывали в стеклянную тару с металлическими крышками, этикетировали, транспортировали в лабораторию, где

оставляли до момента анализа в холодильнике при температуре 4°C .

На этапе извлечения и определения концентрации МЗ использовались стандартные процедуры: высушивание пробы при температуре 40°C в течение не менее 24 ч; взвешивание; просеивание через сито из нержавеющей стали с размером ячеек $0,25 \text{ мм}$; фракция менее $0,25 \text{ мм}$ не учитывалась; плотностное разделение путём помещения 50-граммовой порции пробы в 200 мл насыщенного солевого раствора (NaCl плотностью $1,2 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$), время экспозиции составляло 5-6 часов, количество повторностей 3, в соответствии с рекомендациями [15]; фильтрование полученного супернатанта через систему сит с ячейкой $5,0$ и $0,3 \text{ мм}$; фракции более 5 и менее $0,3 \text{ мм}$ не учитывались; промывка дистиллированной водой для удаления оставшихся солей; высушивание при 60°C в течение 2 часов перед процессом разложения; влажное перекисное окисление – в случае наличия в пробе органического материала (35% раствор H_2O_2 в присутствии катализатора $\text{Fe}(\text{II})$); удаление раствора для разложения пипеткой Пастера с сохранением частиц МП; промывка извлечённых частиц МП в 1 мл 80%-го раствора этанола; высушивание на воздухе и взвешивание извлечённых частиц МП.

С целью предотвращения случайного попадания МП в исследуемые пробы из окружающей среды, при отборе и анализе проб нами строго соблюдались правила [16]. Одновременно выполнялся отрицательный атмосферный контроль в виде размещения на рабочей поверхности трёх образцов фильтровальной бумаги, пропитанных дистиллированной водой, помещённых в чашках Петри.

Величину накопления анализировали по приросту количества частиц МП за два года наблюдений в пересчете на площадь в 1 м^2 .

Результаты и обсуждение. *Морфометрические характеристики пляжей.* Для анализа изменения концентрации МЗ в донных отложениях ЗР и КР, в первую очередь, были определены морфометрические характеристики исследуемых пляжей, перечисленные в табл. 1.

Таблица 1. Морфометрические характеристики исследуемых пляжей

Обозначение	Пляж		Степень замкнутости акватории	Ширина пляжа, м	Верхняя граница заплеска волн, м	Наличие клифа	Глубина на расстоянии 2, 10, 20 и 50 м от уреза воды, м
	Тип	Название					
ЗР1	ЗР	Учкуевка	открытая	40	15	- *	0,45/ 0,95/ 1,45/ 2,85
ЗР2	ЗР	Солнечный	полузакрытая	25	14	-	0,4/ 1,1/ 1,9/ 2,65
ЗР3	ЗР	Песочный	полузакрытая	35	11	-	0,4/ 0,95/ 1,25/ 2,15
ЗР4	ЗР	Омега	полузакрытая	20	10	-	0,4 /0,6/ 0,95/ 2,0
ЗР5	ЗР	Золотой	открытая	8	8	+	0,5/ 0,9/ 2,30/ 3,55
КР1	КР	Константиновский	полузакрытая	3,5	3,5	+	0,4/ 0,85/ 1,5/ 3,15
КР2	КР	ТЭЦ	полузакрытая	2	2	+	0,35/ 1,3/ 1,95/ 2,35

* В верхней части пляжа и на абразионном уступе, сплошной линией расположены объекты рекреационной инфраструктуры, бетонные основания которых, так же, как и естественный клиф, обуславливают накопление МЗ на территории пляжа, препятствуя его перемещению в зону выше верхней границы тела пляжа.

На открытой акватории расположены два пляжа (ЗР1 и ЗР5). Верхняя граница заплеска волн пляжа с клифом (ЗР5) занимает всю ширину пляжа. Ту же особенность имеют и оба контрольных района (КР1 и КР2). В ЗР1 природный клиф как таковой отсутствует, но идентичным эффектом, ограничивающим перемещение МЗ, обладают бетонные основания капитальных сооружений, построенных на границе верхней зоны пляжа.

Таблица 2. Уклоны между точками отбора проб

Пляж	Участки дна пляжа и расстояние крайних точек до уреза воды			
	0-Т ₁ , 0-2 м, %	Т ₁ -Т ₂ , 2-10 м, %	Т ₂ -Т ₃ , 10-20 м, %	Т ₃ -Т ₄ , 20-50 м, %
ЗР1	23	6	5	5
ЗР2	20	9	8	3
ЗР3	20	7	3	3
ЗР4	20	3	4	4
ЗР5	25	5	14	4
КР1	20	6	7	6
КР2	18	14	5	1

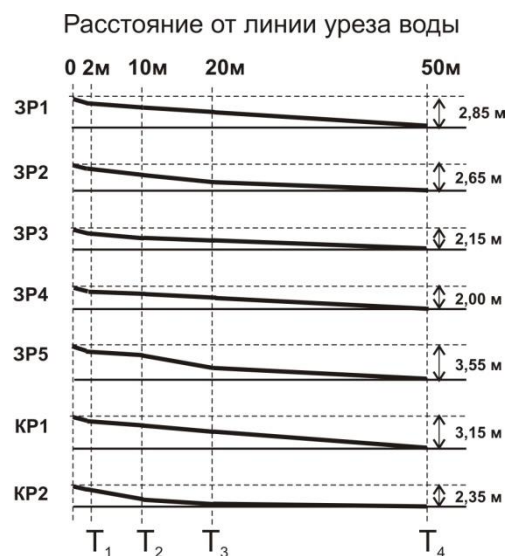


Рис. 3. Продольные профили подводной части исследуемых пляжей
Fig. 3. Longitudinal profiles of the underwater part of the study beaches

Глубина прибрежной точки Т1 практически одинакова на всех пляжах и составляет 0,45–0,65 м, а глубина самой удаленной от уреза воды точки Т4 варьирует от 2,00 в ЗР4 до 3,55 м в ЗР5

Крутые участки склона дна (уклон 18–25%) между точкой сбора Т1 и линии

ей уреза воды на всех пляжах сменяются на пологие, с уклоном 3–7%, и покатые (уклон 8–14%) участки, расположенные на расстоянии 2–10 и 10–20 м от уреза воды. Крутизна склона дна между самыми отдаленными точками не превышает 6% (табл. 2, рис. 3).

Отличительной особенностью исследуемых пляжей является динамика значений крутизны склона дна по удаленности от линии уреза воды между точками Т1, Т2, Т3 и Т4. Так, в районах ЗР2 и КР2 происходит уменьшение уклона между точками сбора по глубине. На

пляжах ЗР1 и КР1 значение уклона на этих же участках практически одинаково. В зонах рекреации ЗР3 и ЗР4 значение уклона не изменяется между точками Т2-Т3 и Т3-Т4, а в ЗР5 на участке Т2-Т3 значение уклона возрастает в 2,8-3,5 раза по сравнению с соседними участками.

Типы микропластика по форме частиц. По морфологическим характеристикам обнаруженные частицы МП дифференцированы на пять основных групп: пеллеты, фрагменты, волокна, гранулы и плёнки (рис. 4).

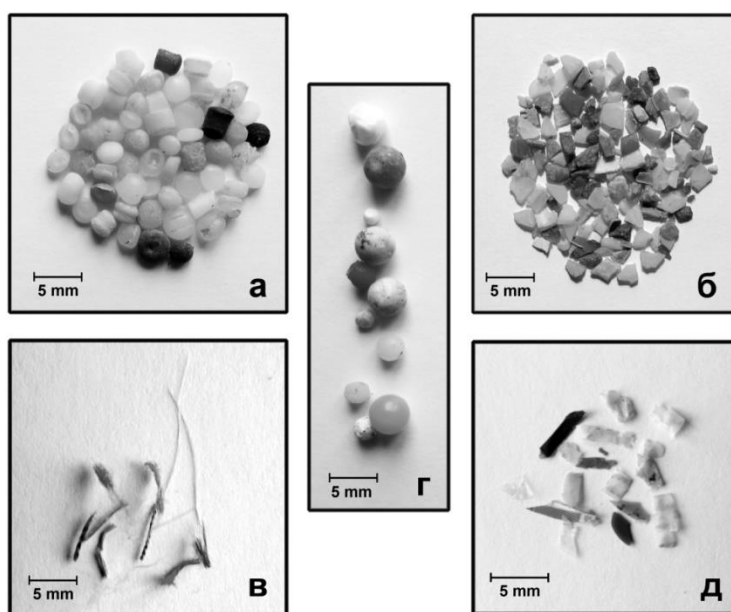


Рис. 4. Основные группы по форме частиц МП (а – пеллеты, б – фрагменты, в – волокна, г – гранулы, д – плёнки)

Fig. 4. The basic MPs particle shape's categories (pellets, fragments, fibers, granules, films)

Во всех пробах доля фрагментов была максимальна и составляла 50–83%. В донных отложениях КР1 и КР2 в 2018 г. обнаружены только фрагменты и волокна, составляющие 67% и 33% соответственно. В 2020 г. доля данных форм МП частиц, как в КР, так и в ЗР стала практически схожей (фрагменты – 52% и 56%, волокна – 13% и 12% в ЗР и КР, соответственно). Это может говорить о том, что процессы поступления МЗ в донные отложения исследуемых пляжей имеют сходный характер (рис. 5).

Связь накопления МЗ в донных отложениях с количеством отдыхающих на пляжах не учитывалась, в отличие от ранее полученных нами данных по динамике МЗ в береговых отложениях этих же пляжей.

Доля пеллет в ЗР увеличилась за два года на 3,5% за счет уменьшения доли волокон и фрагментов. Обнаруженные гранулы, пеллеты и плёнки в донных отложениях КР в 2020 г. составили около трети от всех видов частиц (31%).



Рис. 5. Доля основных морфологических групп частиц МП в донных отложениях зон рекреации (ЗР) и контрольных районов (КР) в 2018 и 2020 гг.

Fig. 5. The proportion of the main morphological groups of MP particles in the bottom sediments of the recreation zones (RZ) and control areas (CA) in 2018 and 2020 гг.

Изменение концентрации МЗ в донных отложениях исследуемых пляжей. В прибрежной зоне Т₁ в двух метрах от уреза воды концентрация МЗ существенно увеличилась на пляжах с открытой акваторией (ЗР1 и ЗР5) и в меньшей степени в КР1 и КР2, расположенных в Севастопольской бухте, характеризующейся как узкая полузамкнутая акватория эстуарного типа в Чёрном море. КР2 расположен в её кутовой части, КР1 – на выходе из бухты.

Увеличение МЗ в зоне Т₂, расположенной на расстоянии 10м от уреза воды, отмечалось в трёх районах: ЗР5, КР1 и КР2. Общей особенностью всех трёх районов является наличие клифа и то, что ширина зоны заплеска волн соответствует ширине всего пляжа (см. табл. 1).

В точке Т₃, расположенной на расстоянии 20 м от уреза воды, значительное накопление МЗ (около 300%) обнаружено в КР1, КР2 и ЗР1. Уменьшение концентрации МЗ в точке Т₃ обнаружено в двух районах, расположенных в одной бухте – ЗР3 и ЗР4.

В самой удаленной точке от берега Т₄ зарегистрировано увеличение концентрации МЗ практически во всех районах, кроме ЗР4. В КР1 концентрация МЗ в этой точке незначительно уменьшилась (рис. 6).

В результате данного исследования не выявлено общей закономерности влия-

ния степени уклона дна на кумуляцию МЗ по зонам.

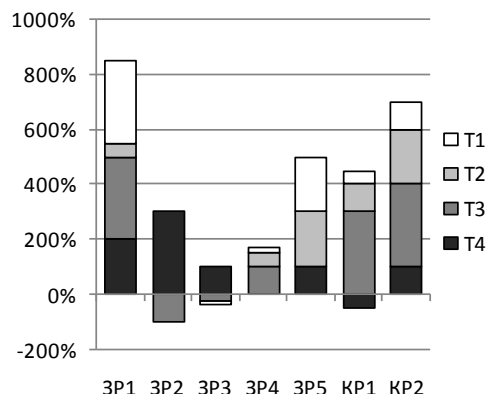


Рис. 6. Изменение концентрации МЗ в донных отложениях исследуемых пляжей за 2 года

Fig. 6. Change in the concentration of MP in the bottom sediments of the study areas for 2 years

При анализе изменения концентрации МЗ за два года по всем точкам сбора проб на каждом пляже (рис. 7), отмечено, что высокий рост концентрации МЗ (более чем в 5 раз) в донных отложениях приходится на пляжи с открытой акваторией (ЗР1 и ЗР5) и пляж, расположенный недалеко от устья реки Чёрная (КР2).

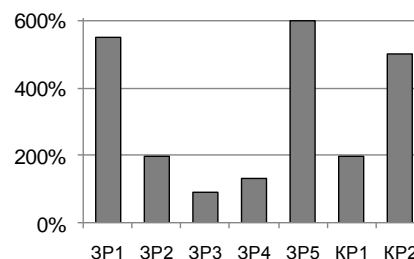


Рис. 7. Рост суммарных значений концентрации МЗ в донных отложениях за 2 года по отношению к начальным измерениям

ЗР1 и ЗР5 – это популярные пляжи с открытой акваторией и парково-природной прилегающей территорией. Высокий прирост концентрации МЗ в донных отложениях именно этих пляжей может быть связан с ветро-волновой деятельностью и штормовой активностью, способствующих переносу частиц МП с береговой части пляжа в приповерх-

ностный слой воды примыкающих акваторий, откуда МП со временем опускается на дно. Оба района ЗР1 и ЗР5 привлекательны для посетителей за счёт удобного песчаного типа грунта в ЗР1 и пейзажно-эстетической составляющей в ЗР5. Поскольку пляжи Учкучевка (ЗР1) и Золотой (ЗР5) расположены в удалении от жилых районов, отдыхающие добираться сюда, как правило, с расчётом провести здесь не менее 2-3 часов и, следовательно, оставляют после себя большое количество пластикового мусора, так называемого, однократного использования (трубочки от соков, одноразовая посуда, влажные салфетки, сигаретные фильтры, упаковочные материалы и др.). Это способствует превращению данных ЗР в потенциальные источники мезо- и микропластикового загрязнения как территории самих пляжей, так и примыкающих акваторий.

Высокое содержание МЗ в донных отложениях КР2 можно объяснить активным поступлением МЗ со стоком вод р. Чёрная. Воды реки, протекая по территориям с интенсивным земледелием, являются источником загрязнения Севастопольской бухты нефтепродуктами, тяжёлыми металлами, биогенными элементами. С водами р. Чёрная в бухту ежегодно поступает не менее 1000 т взвешенных веществ [17], среди которых с высокой степенью вероятности присутствует и МП. Кроме того, при сбросе сточных вод окрестных населённых пунктов, долгие годы необорудованных очистными сооружениями (с. Орлиное, с. Тыловое, с. Широкое, с. Новобобровка, с. Родниковское) [18], загрязняющие вещества с поверхностно-склоновым стоком, а также путём инфильтрации через загрязнённые подземные водоносные горизонты и пруды-накопители поступают в реки – притоки р. Чёрная, и в итоге оказываются в Севастопольской бухте.

Двукратный прирост концентрации МЗ отмечен в двух районах – КР1 и ЗР2. Повышение концентрации МЗ в донных отложениях КР1 может быть обусловле-

но поступлением сюда частиц МП, циркулирующих по всей бухте, а также и из других источников: инфраструктуры военного, рыбного и грузопассажирского портов, судостроительных и судоремонтных предприятий, расположенных непосредственно на берегах Севастопольской. Аналогичное изменение концентрации МЗ в ЗР2, возможно, объясняется поступлением МП в большей степени из наземного источника, так как пляж Солнечный отличается высокой степенью потока отдыхающих благодаря транспортной доступности и насыщенности разнообразной пляжной инфраструктурой.

На пляжах ЗР3 и ЗР4 концентрация МЗ за два года существенно не изменилась. Оба пляжа расположены в полузакрытых бухтах, на их юго-западной стороне, и в равной степени популярны у отдыхающих. Общим для них является также тождественность значений уклона подводного берегового склона в точках Т₁, Т₃ и Т₄ (табл. 2), благодаря чему общий характер продольного профиля дна практически идентичен (рис. 3). Кроме того, из всех исследуемых пляжей ЗР2 и ЗР3 отличались минимальной глубиной (2,0–2,15 м) в самой дальней точке Т₄. Возможно, вышеописанные сходные локальные условия в совокупности с обусловленными ими же аналогичными характеристиками ветро-волнового режима и определяют стабильность концентрации МЗ как на одном, так и на другом пляже.

Оценка степени загрязнения МП донных отложений ЗР по сравнению с другими регионами Мирового океана. Исследования МЗ донных отложений в примыкающей к ЗР акватории впервые получены для данного региона, поэтому сравнение можно провести только с другими районами Мирового океана. Для анализа из литературных источников были отобраны те, где в различных регионах Мирового океана исследовались донные отложения прибрежных рекреационных зон с небольшими глубинами (табл. 3).

Таблица 3. Средняя концентрация МЗ в донных отложениях регионов Мирового Океана

№	Регион исследований	Средняя концентрация МП в донных отложениях (единиц·кг ⁻¹ сухого веса / ед.·м ⁻²)	Размеры МП частиц / наиболее распространённая форма МП	Источник
1	Чёрное море (Крымское побережье)	В ЗР 13,4 ед.·кг ⁻¹ , (167,5 ед.·м ⁻²); В КР 9,0 ед.·кг ⁻¹	0,5 – 5,0 мм Фрагменты	Оригинальные данные
2	Северо-западный район Средиземного моря	32,4 единиц·кг ⁻¹	0,1 – 5,0 мм Волокна	[9]
3	Южный район Каспийского моря	103,15 ± 7,21 ед.·кг ⁻¹	0,1 – 5,0 мм Волокна	[10]
4	Андаманское море (побережье Тайланда)	375 ед.·кг ⁻¹	0,1 – 5,0 мм Волокна, плёнки	[12]
5	Чёрное море (Северо-западный район)	250 ед.·кг ⁻¹	0,1 – 5,0 мм Волокна	[19]
6	Южно-Китайское море (Юго-восточное побережье Вьетнама)	5,0 ед.·кг ⁻¹	0,5 – 5,0 мм Фрагменты	[11]
7	Средиземное море (Юго-восточное побережье Туниса)	2932 ± 63 ед.·м ⁻²	0,1 – 5,0 мм Фрагменты	[7]
8	Балтийское море (Финский залив)	70,9 ед.·кг ⁻¹	0,1 – 5,0 мм Фрагменты	[8]

Как видно из табл. 3, средние величины концентрации МЗ в донных отложениях вблизи ЗР Крымского побережья Чёрного моря, по нашим данным (в зонах рекреаций – 13,4 единиц·кг⁻¹, в контрольных районах – 9,0 единиц·кг⁻¹), существенно ниже аналогичных показателей для северо-западного района Чёрного моря [19], в два раза меньше, чем в северо-западном районе Средиземного моря [9], почти в шесть раз меньше, чем в Балтийском море [8] и в 8 раз меньше, чем в Каспийском море [10]. При этом полученные в результате данного исследования величины в 2,5 раза превышают аналогичные показатели для Южно-Китайского моря [11], но в 28 раз и 17 раз ниже, чем у побережья Тайланда [12] и Туниса [7], соответственно. Учитывая методологические особенности вышеупомянутых работ, а именно представленность до 80% обнаруженного МП фракциями 0,1–0,5 мм [7, 12, 19], которые в нашей работе не учитывались, возможно, количество МП фракций 0,5–5 мм находятся примерно на одном уровне.

Следует отметить, что в большинстве вышеперечисленных исследований, как и в нашей работе, наиболее многочис-

ленными среди обнаруживаемых частиц МП являлись фрагменты.

Влияние локальных условий на изменение концентрации МЗ в донных отложениях исследуемых пляжей. Полученные результаты позволили отметить следующие особенности изменения концентрации МЗ при высокой степени сходства локальных условий:

- максимальный прирост концентрации МЗ (в 5 раз и более) наблюдался на пляжах с открытой акваторией – ЗР1 и ЗР5. Столь же высокий уровень накопления, отмеченный в КР2, мы объясняем влиянием стока вод р. Чёрная;

- минимальные изменения концентрации МЗ выявлены на пляжах ЗР3 и ЗР4, расположенных в полузакрытых бухтах с идентичным продольным профилем дна и минимальными глубинами в наиболее удалённой точке Т₄;

- существенный прирост концентрации МЗ в трёх ближайших к берегу точках отбора проб наблюдался на пляжах с наличием клифа КР1, КР2, ЗР5, а также на пляже ЗР1, где отсутствие природного клифа компенсирует сплошная линия бетонных оснований сооружений инфраструктуры.

Таким образом, однозначно утверждать, что локальные условия оказывают влияние на изменение концентрации МЗ, мы не можем. Тем не менее, отмечено, что существенный прирост концентрации МЗ в донных отложениях подводного берегового склона на отрезке 0–20 м от уреза воды совпадает с наличием таких локальных условий как наличие клифа и открытая акватория пляжа.

Следует отметить, что расположение пляжей на территории одной бухты не оказывает существенного влияния на уровень МЗ. Так параметры прироста МЗ отличается на пляжах ЗР2 и ЗР3, расположенных в бухте Песочная, аналогична ситуация на пляжах КР1 и КР2, расположенных в Севастопольской бухте. Некоторую степень влияния на кумуляцию МЗ может оказывать уклон подводного берегового склона. Несмотря на отсутствие выраженной общей закономерности влияния степени уклона дна на концентрацию МЗ, на примере пляжей ЗР3 и ЗР4 показано, что сходный продольный профиль подводного склона различных пляжей обуславливает и сходные количественные параметры МЗ.

В данной работе нами не рассматривается влияние на уровень МЗ ещё одного компонента локальных условий – гранулометрического состава пляжных и донных отложений, различного на исследуемых пляжах. Полученные результаты и выводы по этому вопросу будут представлены в нашей следующей статье.

Заключение. В донных отложениях всех исследуемых пляжей за двухлетний период наблюдался прирост концентрации МЗ. Максимальные величины прироста концентрации МЗ в 5,5–6 раз в донных отложениях зарегистрированы на пляжах с открытой акваторией и парково-природной прилегающей территорией, а также в контрольном районе, расположенном недалеко от устья р. Чёрная.

Средние величины концентрации МЗ в донных отложениях ЗР и КР составляли 13,4 единиц·кг⁻¹ и 9,0 единиц·кг⁻¹ (сухого веса), соответственно.

Во всех пробах донных отложений по форме МП доля фрагментов была максимальна и составляла 50–83%. Из других типов формы МП многочисленны были также волокна, составляющие до 33%. Гранулы и пеллеты составляли не более 10%.

Существенный прирост концентрации МЗ в донных отложениях подводного берегового склона на отрезке 0–20 м от уреза воды зарегистрирован в районах с наличием клифа и открытой акваторией.

Уровень концентрации МЗ в донных отложениях исследуемых районов сопоставим с таковым в Средиземном, Каспийском, Балтийском морях, но на порядок ниже, чем в северо-западном районе Чёрного моря и других регионах Мирового Океана.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований и города Севастополь (проект № 18-44-920014 р_а), а также в рамках НИР ФИЦ ИнБЮМ № гос. регистрации: 121040600178-6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tourinho P.S., Koci V., Loureiro S. et al.* Partitioning of chemical contaminants to microplastics: sorption mechanisms, environmental distribution and effects on toxicity and bioaccumulation // *Environmental Pollution*. 2019. Vol. 252. P. 1246–1256.
2. *Smith M., Love D.C., Rochman C.M. et al.* Microplastics in seafood and the implications for human health // *Current Environmental Health Reports*. 2018. Vol. 5 (3). P. 375–386.
3. *Akhbarizadeh R., Moore F., Keshavarzi B.* Investigating microplastics bioaccumulation and biomagnification in seafood from the Persian Gulf: a threat to human health? // *Food Additives and Contaminants*. 2019. Vol. 36. P. 1696–1708.
4. *Hurley R., Rothwell J., Woodward J.J.* Microplastic contamination of river beds significantly reduced by catchment-wide flooding // *Nature Geoscience*. 2018. Vol. 11 (4). P. 251–257.
5. *Hengstmann E., Tamminga M., Bruch C. et al.* Microplastic in beach sedi-

ments of the Isle of Rügen (Baltic Sea) // *Marine Pollution Bulletin*. 2018. Vol. 126. P. 263–274.

6. *Сибирцова Е.Н.* Микропластиковое загрязнение грунтов пляжей г. Севастополя в летний период 2016–2017 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. Вып. 1. С. 64–73.

7. *Chouchene K., Da Costac J.P., Walia A. et al.* Microplastic pollution in the sediments of Sidi Mansour Harbor in Southeast Tunisia // *Marine Pollution Bulletin*. 2019. Vol. 146. P. 92–99.

8. *Поздняков Ш.П., Иванова Е.В., Гузева А.В. и др.* Исследование содержания частиц микропластика в воде, донных отложениях и грунтах прибрежной территории Невской губы Финского залива // *Водные Ресурсы*. 2020. Вып. 47 (4). С. 411–420.

9. *Exposito N., Rovira J., Sierra J. et al.* Microplastics levels, size, morphology and composition in marine water, sediments and sand beaches. Case study of Tarragona coast (western Mediterranean) // *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 786 (1):147453.

10. *Manbohi A., Mehdinia A., Rahnama R. et al.* Spatial distribution of microplastics in sandy beach and inshore-offshore sediments of the southern Caspian Sea // *Marine Pollution Bulletin*. 2021. Vol. 169. 112578

11. *Hien T.T., Nhon N.T.T., Thu V.T.M. et al.* The Distribution of Microplastics in Beach Sand in Tien Giang Province and Vung Tau City, Vietnam // *Journal of Engineering and Technological Sciences*. 2020. Vol. 52 (2). P. 208–221.

12. *Jiwarungrueangkul T., Phaksopa J., Sompongchaiyakul P. et al.* Seasonal microplastic variations in estuarine sedi-

ments from urban canal on the west coast of Thailand: A case study in Phuket province // *Marine Pollution Bulletin*. 2021. Vol. 168. 112452.

13. *Karkanorachaki K., Kiparissis S., Kalogerakis G.* Plastic pellets, meso- and microplastics on the coastline of Northern Crete // *Marine Pollution Bulletin*. 2018. Vol. 133. P. 578–589.

14. *Сибирцова Е.Н., Азаркова-Лях И.В.* Методика изучения микропластикового загрязнения в пляжных и донных отложениях различного гранулометрического состава // *Системы контроля окружающей среды*. 2019. Вып. 1 (35). С. 136–145.

15. *Besley A., Vijver M., Behrens P. et al.* A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand // *Marine Pollution Bulletin*. 2017. Vol. 114 № 1. P. 77–83.

16. *GESAMP.* Guidelines or the Monitoring and Assessment of Plastic Litter and Microplastics in the Ocean / Kershaw P.J., Turra A., Galgani F. UK, London: GESAMP, 2019. 130 p.

17. *Мезенцева И.В., Мальченко Ю.А.* Комплексный подход в организации мониторинга загрязнения морских вод в прибрежных акваториях Севастополя // *Труды Государственного Океанографического Института*. 2015. Вып. 216. С. 326–239.

18. *Овсяный Е.И., Орехова Н.А.* Гидрохимический режим реки Чёрная (Крым): Environmental aspects // *Морской гидрофизический журнал*. 2018. Вып. 34 (1). С. 82–94.

19. *Cincinelli A., Scopetani C., Chelazzi D. et al.* Microplastics in the Black Sea sediments // *Science of the Total Environment*. 2021. 143898.

MICROPLASTICS POLLUTION MONITORING IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE SEVASTOPOL REGION RECREATION ZONES

E.N. Sibirtsova, A.V. Temnykh, M.I. Silakov

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS,
RF, Sevastopol, Nakhimov Av., 2

A study of the concentration of microplastic pollution (MP) in the bottom sediments of the water areas adjoining recreation zones (RZ) of the Sevastopol region in 2018 - 2020 was carried out. An increase in

MP was registered practically in all areas, the average values of MP concentration were $13.4 \text{ items} \cdot \text{kg}^{-1}$ dry weight. As for the shape of microplastics (MPs) particles, the maximum share was made up by fragments (50-83%), fibers were also numerous (33%). A significant increase in the concentration of MP on the 0-20 m section of the underwater coastal slope from the water edge was recorded in zones with an open water area and presence of a cliff. The revealed level of MP is comparable to that in the Mediterranean, Caspian, Baltic Seas, but an order of magnitude lower than in other regions of the World Ocean.

Keywords: microplastics, plastic litter, underwater coastal slope, aquatic area, beaches, Black Sea.

REFERENCES

1. *Tourinho P.S., Koci V., Loureiro S., and van Gestel C.A.M.* Partitioning of chemical contaminants to microplastics: sorption mechanisms, environmental distribution and effects on toxicity and bioaccumulation. *Environmental Pollution*, 2019, Vol. 252, pp. 1246–1256.
2. *Smith M., Love D.C., Rochman C.M., and Neff R.* Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current Environmental Health Reports*, 2018, Vol. 5 (3), pp. 375–386.
3. *Akhbarizadeh R., Moore F., and Keshavarzi B.* Investigating microplastics bioaccumulation and biomagnification in seafood from the Persian Gulf: a threat to human health? *Food Additives and Contaminants*, 2019, Vol. 36, pp. 1696–1708.
4. *Hurley R., Rothwell J., and Woodward J.J.* Microplastic contamination of river beds significantly reduced by catchment-wide flooding. *Nature Geoscience*, 2018, Vol. 11 (4), pp. 251–257.
5. *Hengstmann E., Tamminga M., Bruch C., and Fischer E.K.* Microplastic in beach sediments of the Isle of Rügen (Baltic Sea). *Marine Pollution Bulletin*, 2018, Vol. 126, pp. 263–274.
6. *Sibircova E.N.* Mikroplastikovoje zagryaznenie gruntov plyazhej g. Sevastopolya v letnij period 2016–2017 gg (Microplastic pollution of Sevastopol beach sediments in the summer 2016–2017.). *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon moray*, 2018, No. 1, pp. 64–73.
7. *Chouchenea K., Da Costac J.P., Walia A., Girão A.V., Hentati O., da Costa Duarte A., Rocha-Santos T., and Ksibi M.* Microplastic pollution in the sediments of Sidi Mansour Harbor in Southeast Tunisia. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, Vol. 146, pp. 92–99.
8. *Pozdnyakov Sh.R., Ivanova E.V., Guzeva A.V., Shalunova E.P., Martinsona K.D., and Tikhonova D.A.* Issledovanie soderzhaniya chastic mikroplastika v vode, donnyh otlozheniyah i gruntah pribrezhnoj territorii Nevskoj guby Finskogo zaliva (Study of the content of microplastic particles in water, bottom sediments and soils of the coastal territory of the Neva Bay of the Gulf of Finland). *Vodnye Resursy*, 2020, No. 47 (4), pp. 411–420.
9. *Exposito N., Rovira J., Sierra J., Folch J., and Schuhmacher M.* Microplastics levels, size, morphology and composition in marine water, sediments and sand beaches. Case study of Tarragona coast (western Mediterranean). *Science of The Total Environment*, 2021, Vol. 786 (1):147453.
10. *Manbohi A., Mehdiinia A., Rahnama R., Dehbandi R., and Hamzehpour A.* Spatial distribution of microplastics in sandy beach and inshore-offshore sediments of the southern Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 2021, Vol. 169, 112578
11. *Hien T.T., Nhon N.T.T., Thu V.T.M., Quyen D.T.T. and Nguyen N.T.* The Distribution of Microplastics in Beach Sand in Tien Giang Province and Vung Tau City, Vietnam. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 2020, Vol. 52 (2), pp. 208–221.
12. *Jiwarungruengkul T., Phaksopa J., Sompongchaiyakul P., and Tipmanee D.* Seasonal microplastic variations in estuarine sediments from urban canal on the west coast of Thailand: A case study in Phuket province. *Marine Pollution Bulletin*, 2021, Vol. 168, 112452.
13. *Karkanorachaki K., Kiparissis S., Yiantzi E., Psillakis E., Kalogerakis N. and Kalogerakis G.* Plastic pellets, meso- and microplastics on the coastline of Northern Crete. *Marine Pollution Bulletin*, 2018, Vol. 133, pp. 578–589.
14. *Sibircova E.N. and Agarkova-Lyah I.V.* Metodika izucheniya mikroplastikovogo zagryazneniya v plyazhnyh i donnyh otlozheniyah razlichnogo granulometricheskogo sostava (Methods for studying microplastic pollution in beach and bottom sediments of various granulometric composition). *Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy*, 2019, No. 1 (35), pp. 136–145.
15. *Besley A., Vijver M., Behrens P., and Bosker T.* A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand. *Marine Pollution Bulletin*, 2017, Vol. 114, No 1, pp. 77–83.

16. *Kershaw P.J., Turra A., and Galgani F.* GESAMP. Guidelines on the Monitoring and Assessment of Plastic Litter and Microplastics in the Ocean UK, London: GESAMP, 2019. 130 p.
17. *Mezenceva I.V. and Mal'chenko Yu.A.* Kompleksnyj podhod v organizacii monitoringa zagryazneniya morskikh vod v pribrezhnyh akvatoriyah Sevastopolya (An integrated approach to the organization of monitoring of sea water pollution in the Sevastopol coastal waters). *Trudy Gosudarstvennogo Okeanograficheskogo Instituta*, 2015, No. 216, pp. 326–239.
18. *Ovsyanyj E.I. and Orekhova N.A.* Gidrohimicheskij rezhim reki Chyornaya (Krym): Environmental aspects (Hydrochemical regime of the river Chernaya (Crimea): Environmental aspects). *Morskoy gidrofizicheskij zhurnal*, 2018, No. 34 (1), pp. 82–94.
19. *Cincinelli A., Scopetani C., Chelazzi D. Martellini T., Pogojeva M., and Slobodnik J.* Microplastics in the Black Sea sediments. *Science of the Total Environment*, 2021, 143898.