

## МИКРОПЛАСТИК В ПОЧВАХ ХОЛМОВ ТАЛА, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА

© 2024 г. Т. И. Кухарчик<sup>а,\*</sup> (<http://orcid.org/0000-0003-3434-1244>),  
С. В. Какарека<sup>а</sup>, К. О. Рябычин<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси,  
ул. Ф. Скорины, 10, Минск, 220076 Беларусь

\*e-mail: [tkukharchyk@gmail.com](mailto:tkukharchyk@gmail.com)

Поступила в редакцию 11.07.2023 г.

После доработки 13.10.2023 г.

Принята к публикации 14.10.2023 г.

Впервые на примере оазиса Вечерний, Холмы Тала, Земля Эндерби получены данные о содержании частиц микропластика (менее 5 мм) в почвах Восточной Антарктиды. Проанализировано 7 проб, отобранных с глубины 0–15 см. Исследовали две фракции почв (<1 мм и 1–5 мм) в трехкратной повторности (42 индивидуальные навески). Методика выделения частиц микропластика включала просеивание почв, плотностное разделение в растворе хлорида цинка, центрифугирование, вакуумную фильтрацию и микроскопический анализ. Для фильтрации использовали фильтры из стекловолокна с диаметром пор 1.6 мкм. Количественную оценку частиц микропластика осуществляли с помощью микроскопа, цифровой камеры и соответствующего программного обеспечения. Установлено, что частицы микропластика присутствуют во всех проанализированных пробах. Их количество варьирует от 66 до 1933 ед./кг сухой почвы. В большинстве случаев преобладают частицы размером <1 мм, на долю которых приходится от 70 до 100%. В 70% случаев доминируют волокна, в 30% – фрагменты неправильной формы пластмасс; пленки встречаются единично. Отсутствует четко выраженная приуроченность повышенного количества частиц микропластика к объектам инфраструктуры, что может быть следствием влияния других факторов, в том числе локального и дальнего переноса.

*Ключевые слова:* пластик, микроскопия, волокна, загрязнение почв

DOI: 10.31857/S0032180X24030098, EDN: YHXTGQ

### ВВЕДЕНИЕ

Вопросы загрязнения природной среды Антарктиды пластиком и микропластиком по мере накопления данных приобретают все большую актуальность [15, 20, 21, 44, 52]. Становится очевидным, что Антарктида и Южный океан не так изолированы от остального мира, как считалось ранее [30, 47]. Пластик, попадая в океан с суши в низких широтах и с морских судов различного назначения, благодаря долговечности и устойчивости к воздействию внешних факторов, а также циркумполярным течениям способен достигать Антарктики. Кроме того, имеются и локальные источники поступления пластика и микропластика в окружающую среду вследствие деятельности научных станций и туризма [11, 25, 26]. В последние годы повышено внимание к трансграничному переносу частиц микропластика с воздушными массами [9, 14, 37].

К настоящему времени получены доказательства присутствия частиц микропластика в различных природных компонентах Антарктики, например, в поверхностных отложениях ледника Коллинза на острове Кинг-Джордж [26], в снежном покрове в районе острова Росс [11], в керне припайного морского льда в районе станции Кейси [31], морской воде в районе Антарктического полуострова [34], донных морских отложениях вблизи станции Ротера, остров Аделэйд [42], и заливе Терра Нова, море Росса [39], поверхностных водах ручья на полуострове Байерс, остров Ливингстон [25]. Зафиксировано попадание частиц микропластика в организм морских и наземных представителей фауны, в том числе буревестников [24], морских котиков [22], пингвинов [13], в кишечник коллембол [12], что подтверждает опасность циркуляции данного типа загрязнителя.

Изучению содержания частиц микропластика в почвах Антарктиды посвящена работа [40].

Являясь пионерной в этом направлении исследований, она выполнена на примере п-ва Файлдс, о-в Кинг Джордж, Западная Антарктика. Исследования показали, что антарктические почвы весьма разнообразны и могут существенно различаться даже в пределах отдельных оазисов [1, 3, 4, 6], что свидетельствует о значительной вариабельности условий накопления и миграции загрязняющих веществ, включая микропластик.

Как известно, освоение Антарктиды, строительство и функционирование научных антарктических станций привело к накоплению в почвах тяжелых металлов, полициклических ароматических углеводородов, нефтепродуктов и других загрязнителей [2, 8, 10, 32, 36]. Учитывая способность частиц микропластика сорбировать загрязняющие вещества [38, 43], актуальность изучения загрязнения почв микропластиком повышается. Согласно обобщению [7], учет традиционных и новых типов загрязнений является крайне важным для интегрированной оценки экотоксичности почв.

Цель работы – получить первые оценки содержания частиц микропластика в почвах оазиса Холмы Тала и сформировать представление о данном типе загрязнения почв для выбора направлений дальнейших исследований. В ходе исследований решались следующие задачи: отбор проб почв в различных фациальных условиях; выбор и апробация процедуры выделения частиц микропластика из проб почв; выделение частиц микропластика и оценка их количества; интерпретация полученных результатов.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

**Регион исследования, пробы.** Исследования выполнены в оазисе Вечерний, расположенном в восточной части Холмов Тала, Земля Эндерби. Оазис включает основную скалистую гряду с доминирующей высотой – собственно г. Вечерней (272.0 м) и несколько более низких гряд, вытянутых практически параллельно берегу с ориентацией северо-запад – юго-восток. Северо-восточные склоны гряд крутые и короткие, местами обрывистые, юго-западные – пологие. Гряды разделены террасированными долинами, днища которых заняты ледниками и руслами временных водотоков.

В период с конца 1970-х по 1991 гг. здесь функционировала в круглогодичном автономном режиме полевая база “Гора Вечерняя” Российской антарктической экспедиции, которая обеспечивала работу аэродрома. К настоящему времени объекты инфраструктуры полевой базы частично демонтированы; часть сохранившихся объектов используется Белорусской антарктической экспедицией (БАЭ). С 2011 г. здесь начала работать в сезонном режиме БАЭ, а в 2015 г. начато строительство Белорусской антарктической станции.

В соответствии с требованиями Протокола по охране окружающей среды к Договору об Антарктике в оазисе Вечерний с учетом природных особенностей местности и возможных источников антропогенного воздействия с 2012 г. заложена сеть локального мониторинга, включающая 15 пунктов наблюдений почв. В ходе ежегодной БАЭ выполняется отбор проб и их химико-аналитические определения [33]. Для оценки содержания частиц микропластика в почвах оазиса нами выбраны 7 проб почв, отобранных участниками 12-ой БАЭ в 2019/2020 гг., которые характеризуют как условно фоновые районы, так и подверженные антропогенным воздействиям. Пробы почв отбирали с глубины 0–15 см.

Местоположение точек отбора проб приведено на рис. 1, их краткая характеристика – в табл. 1.

Почвообразующими породами являются продукты выветривания коренных пород, делювий, коллювий, флювиогляциальные и моренные отложения. Общий вид двух типичных участков отбора (на флювиогляциальных и моренных отложениях) приведен на рис. 2. Почвы слаборазвиты, верхние горизонты представлены щебнисто-гравийным, песчано-гравийным или каменисто-щебнистым материалом и по своим свойствам относятся к мерзлотным почвам (Cryosols). На долю мелкозема (фракции диаметром <1 мм) приходится, как правило, менее 50% массы пробы; для моренного участка их доля составляет 65.5%. Потери при прокаливании для указанных проб варьируют от 0.1 до 1.0%, что подтверждает полученные ранее данные о крайне низком содержании органического вещества в почвах оазиса [33]. Почвы преимущественно кислые, в районе моренных отложений – слабокислые.

**Методы выделения и количественной оценки частиц микропластика.** Как и в отношении других природных компонентов, стандартизированные методы выделения и количественного определения содержания частиц микропластика из почвы отсутствуют. Для выбора методики изучения содержания частиц микропластика в оазисе Вечернем проанализированы научные статьи, касающиеся загрязнения почв в других регионах Земли [5, 23, 28, 35, 49, 51, 53]. С учетом имеющегося опыта выбранные и апробированы следующие методы выявления и количественной оценки содержания частиц микропластика: просеивания проб, плотностного разделения в солевом растворе, центрифугирования, вакуумной фильтрации и микроскопического анализа. Окисление проб для удаления органических остатков вследствие низкого их содержания не проводили.

*Просеивание проб.* Первоначальным этапом исследования стал анализ гранулометрического состава почв с одновременной попыткой выяснить,

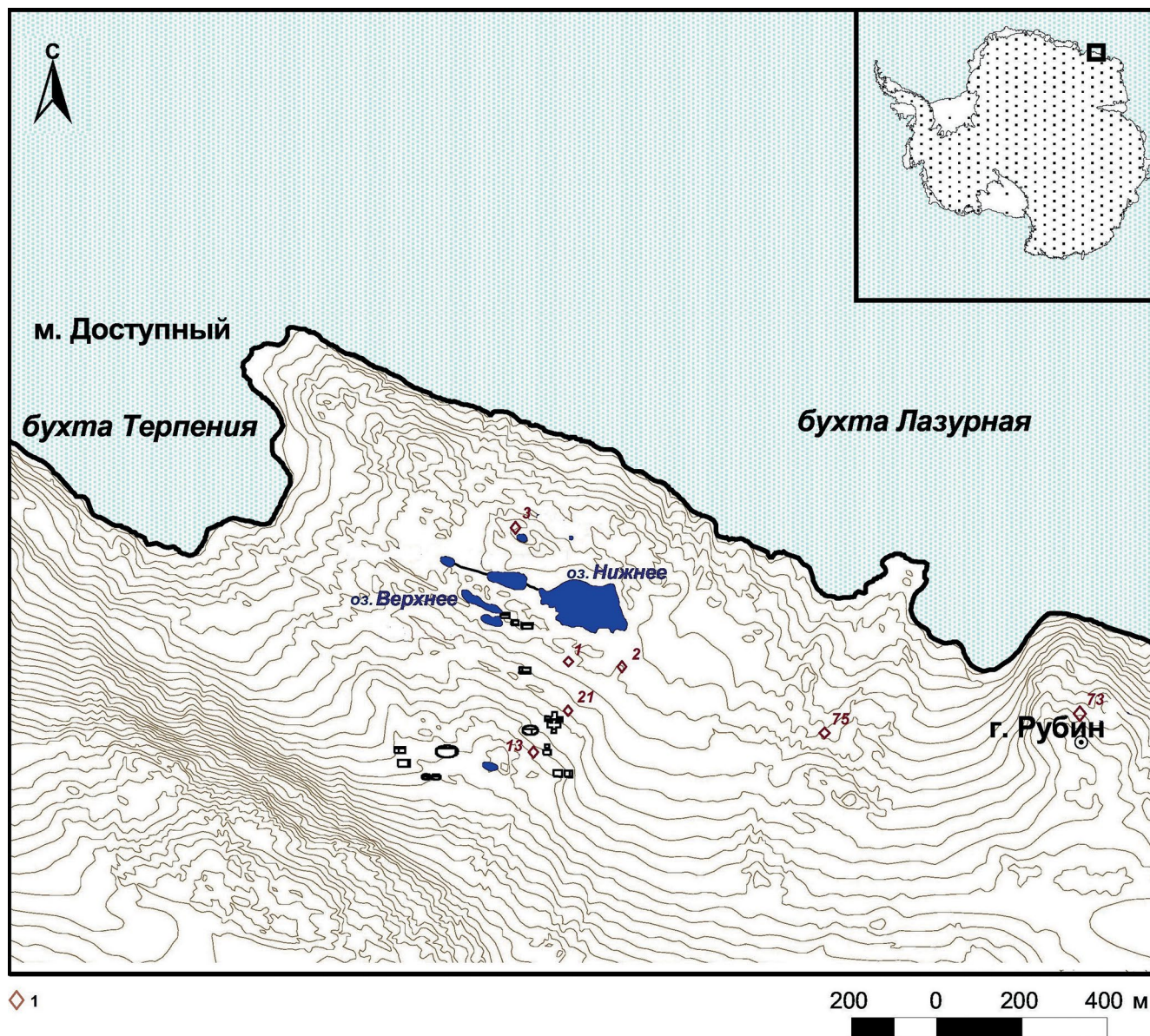


Рис. 1. Местоположение точек отбора проб почв в оазисе Вечерний, Земля Эндерби.

возможна ли фиксация частиц микропластика в почвах с минимальной пробоподготовкой. После высушивания проб до воздушно-сухого состояния их разделяли на фракции с использованием сит со стандартными размерами ячеек и затем исследовали под микроскопом. Общая масса проб, использованных для исследований, варьировала от 750 до 1050 г. Использовали сита с перфорированным полотном и следующими размерами ячеек: 0,5, 1, 2 и 5 мм. Границы размеров, по которым проводилась оценка, соответственно составили: <0,5, 0,5–1, 1–2 и 2–5 мм.

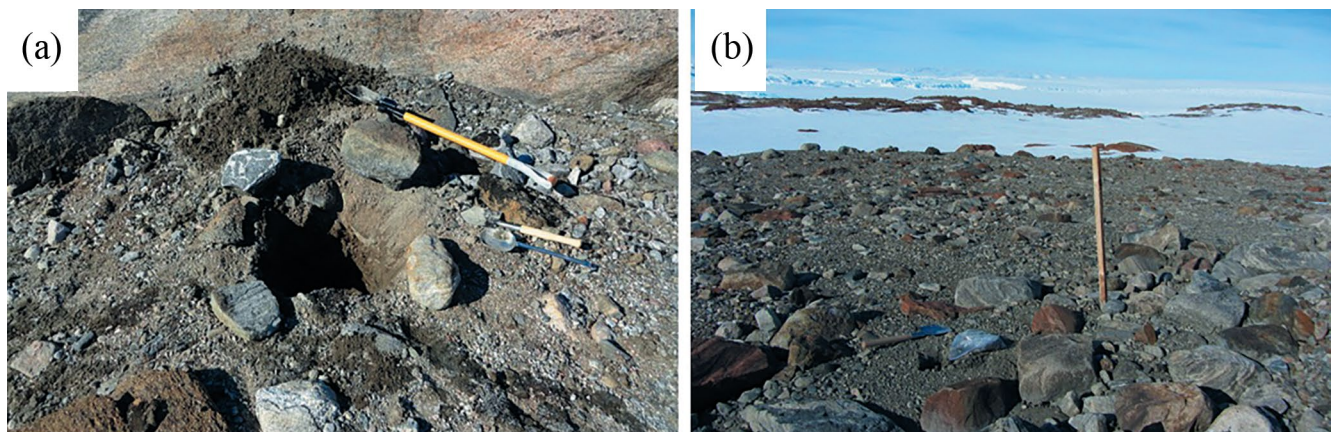
Каждая фракция была сфотографирована под микроскопом с 10- и 40-кратным увеличением.

Примеры полученных фотографий для пробы 1 приведены на рис. 3.

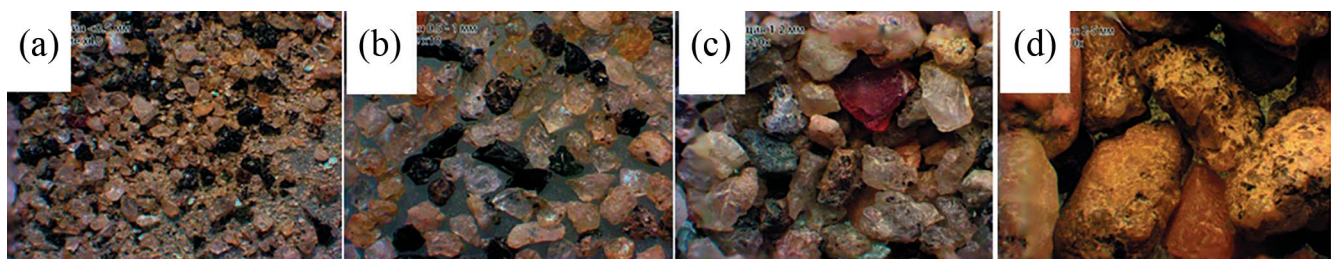
Анализ полученных фракций под микроскопом показал, что визуально частицы микропластика не выявляются. Было установлено, что на частицах крупных фракций (>1 мм) имеются налипшие мелкодисперсные частицы, образующие конгломераты, которые могут влиять на последующий анализ. Это может происходить из-за того, что в таких конгломератах находятся частицы микропластика, и тем самым результаты исследования крупных фракций могут быть завышены. Существуют различные подходы к пробоподготовке, которые могут свести влияние данного фактора

**Таблица 1.** Общие сведения о пробах почв, отобранных для определения частиц микропластика в оазисе Вечерний, Земля Эндерби (2019/2020 г.)

Местоположение и характер воздействия	№ пробы	Абсолютная отметка, м	Координаты, град	Потери при прокаливании, %	Доля фракции <1 мм, %	pH <sub>KCl</sub>
Район жилого модуля станции	1	43	46.15886 W 67.65755 S	0.5	40.2	4.73
	2	43	46.16081 W 67.65779 S	0.3	31.4	4.87
	13	84	46.15729 W 67.65504 S	0.6	44.3	5.59
	21	70	46.15877 W 67.65912 S	0.1	29.2	5.50
Севернее оз. Нижнее	3	47	46.15655 W 67.65546 S	1.0	38.5	4.37
Сопка Рубин, расстояние от станции около 2 км	73	70	46.18689 W 67.65892 S	0.6	44.4	4.66
Территория восточнее станции на расстоянии 1 км; район залегания моренных отложений	75	94	46.18149 W 67.66355 S	0.2	65.5	5.80



**Рис. 2.** Общий вид типичных участков отбора проб почв: а – пробы 3 на флювиогляциальных отложениях (фото Ю.Г. Гигиняка), б – пробы 75 на моренных отложениях (фото П.В. Шаблыко).



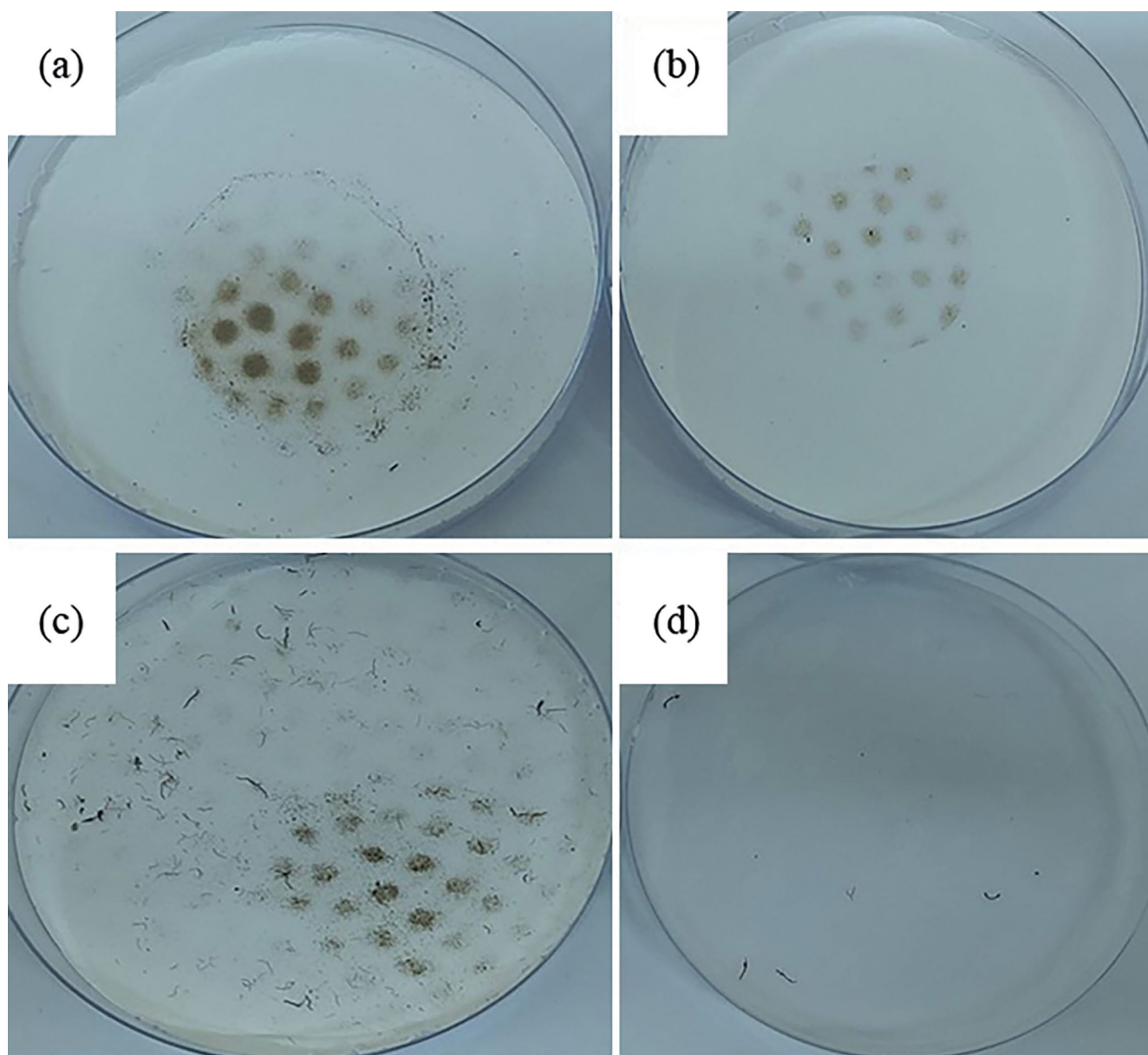
**Рис. 3.** Примеры различных фракций почвы под микроскопом с 10-кратным увеличением (на примере пробы 1): а – <0.5 мм; б – 0.5–1 мм; в – 1–2 мм; г – 2–5 мм.

к минимуму. К ним относится, например, использование более сложных методов сушки, таких как сублимационная, в процессе которой почва полностью обезвоживается, и процесс образования почвенных конгломераций происходит менее явно. Возможно также использование мокрого просеивания, поскольку при данном процессе эффективность прохождения сквозь ячейки сит мелких фракций выше за счет давления на них жидкости. Альтернативой последнему методу может стать использование ультразвуковых ванн [45].

Для последующего анализа использовали пробы почв двух фракций (<1 и 1–5 мм) с целью

оптимизации трудозатрат. Навески проб каждой фракции формировались в трех повторностях для усреднения результатов. Массу навески для каждой повторности брали равной 10 г с погрешностью не более 1% и фиксировали с точностью до двух знаков после запятой.

*Плотностное разделение.* Для плотностного разделения использовался раствор хлорида цинка ( $ZnCl_2$ ), плотность которого ( $1.65 \text{ г/см}^3$ ) достаточна для извлечения большинства распространенных полимеров, например, таких как полистирол ( $1.05 \text{ г/см}^3$ ), АБС-пластик ( $1.03 \text{ г/см}^3$ ), полипропилен ( $0.97 \text{ г/см}^3$ ), различных видов



**Рис. 4.** Общий вид фильтров после фильтрации проб почв из солевого раствора и центрифугирования, фракции: а – <1 мм, б – 1–5 мм (проба 3); с – <1 мм, д – 1–5 мм (проба 13).

полиэтилена ( $0.9-1 \text{ г/см}^3$ ), ПВХ ( $1.35-1.4 \text{ г/см}^3$ ), ПЭТ ( $1.4 \text{ г/см}^3$ ). Для получения раствора в емкость помещали 700 г хлорида цинка и добавляли 500 мл дистиллированной воды. Раствор тщательно перемешивали для полного растворения соли и оставляли остывать до комнатной температуры. После этого в стерильную пробирку объемом 50 мл насыпали 10 г почвы и добавляли раствор соли до уровня примерно 30 мл.

**Центрифугирование.** Методика центрифугирования применяется для быстрого по сравнению с отстаиванием в стакане или в делительной воронке способа разделения частиц по плотности [19, 27]. В данном методе использовался ротор на 6 пробирок объемом по 50 мл. Все пробирки доводили до одинаковой массы  $\pm 0.01 \text{ г}$  и центрифугировали. Режим центрифугирования составлял 10 000 об./мин, время экспозиции – 1 мин. В ходе центрифугирования частицы микропластика всплывали на поверхность раствора из-за более низкой плотности.

**Вакуумная фильтрация.** После центрифугирования частицы переносили на фильтры из стекловолокна (серия GF1, изготовитель CNMLab, Испания) размером 90 мм с диаметром пор 1.6 мкм. Для этого использовали воронку Бюхнера и колбу с отводом (Бунзена) с подключенным к ней вакуумным насосом. Фильтры во избежание загрязнения хранили в чашках Петри. Примеры полученных фильтров представлены на рис. 4.

**Микроскопический анализ.** Микроскопический анализ осуществлялся с использованием цифровой камеры для микроскопа ToprCam и соответствующего программного обеспечения. Поскольку размер видимой области в окуляре (5 мм в диаметре, площадь  $0.196 \text{ см}^2$ ) гораздо меньше всего фильтра (90 мм,  $63.585 \text{ см}^2$ ), то поверхность анализировалась по часовой стрелке путем постепенного прокручивания фильтра вокруг своей оси. Каждая замеченная частица фиксировалась в виде фотографии и сохранялась в определенный каталог, содержащий информацию о пробе, фракции и вторности.

После получения изображений всех частиц с поверхности всех фильтров проводился их подсчет с выделением фрагментов неправильной формы, пленок и волокон. Фиксировался цвет частиц и их размер.

Всего для 7 проб почвы проанализировано 42 индивидуальные навески.

Содержание частиц микропластика оценивали для каждой пробы по результатам трех определений как среднее арифметическое с учетом всех форм частиц и массы навесок почвы. Результаты представляли как количество частиц на килограмм сухой почвы (ед./кг сухой почвы).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали, что частицы микропластика встречаются во всех пробах (табл. 2).

Общее количество частиц размером менее 5 мм варьирует в широком диапазоне: от 66 до 1933 ед./кг сухой почвы. При этом распространение частиц микропластика не зависит от характера использования территории и наличия потенциальных источников в связи со строительством и функционированием станции. Так, минимальное количество частиц микропластика зафиксировано в пробе 13, отобранной в районе расположения жилого модуля (ЦУБа). Относительно низкие значения, по сравнению с другими пробами, характерны для пробы 75 (район распространения моренных отложений, примерно в 1 км от станции) и пробы 21 – также район расположения ЦУБа: для данных проб содержание микропластика составляет соответственно 133 и 267 ед./кг. Наибольшее содержание частиц микропластика выявлено в пробах 3 (к северу от озера Нижнее), 73 (сопка Рубин) и 2 (между станцией и озером Нижним): 1933, 1833 и 1500 ед./кг соответственно. Если для пробы 2 наиболее вероятным источником поступления могут рассматриваться локальные источники, связанные с деятельностью станции, то для проб 3 и 73, характеризующих фоновые территории, высока вероятность ветрового переноса частиц, в том числе со стороны станции. Следует отметить, что территория оазиса в целом небольшая и, следовательно, доступна для посещения. Поскольку освоение оазиса было начато еще в конце 1970-х гг., важным представляется учитывать ретроспективные воздействия, несмотря на то что в отношении поведения частиц микропластика и его аккумуляции пока недостаточно данных.

В целом полученные первые количественные оценки содержания частиц микропластика в почвах оазиса Вечерний согласуются с недавно опубликованными первыми данными для п-ва Файлдс, где содержание частиц микропластика в среднем составляло 13.6 ед./50 мл при диапазоне от 4 до 37 ед./50 мл [40]. Принимая удельный вес почвы равным 1.5 г/мл, количество частиц микропластика оценивается в 180 ед./кг почвы при вариабельности 53 до 493 ед./кг. Хотя максимальное количество частиц микропластика здесь меньше примерно в 4 раза, чем в оазисе Вечерний, это может быть связано с методическими различиями в отборе проб: на полуострове отбирался лишь приповерхностный горизонт почв (до 1 см), в оазисе Вечерний – на глубину до 15 см. Это означает, что частицы микропластика, аккумулярованные ниже 1 см вследствие инфильтрации с тальными водами, на полуострове могут быть пока не учтены. Для сравнения отметим, что вариабельность содержания частиц

**Таблица 2.** Количество частиц микропластика в пробах почв оазиса Вечерний, ед./кг сухой почвы (2019/2020 гг.)

№ пробы	Фракция, мм	Всего	В том числе		
			фрагменты	волокна	пленки
1	1–5	Н. о.	Н. о.*	Н. о.	Н. о.
	<1	667	167	467	33
	Всего	667	167	467	33
2	1–5	233	133	100	Н. о.
	<1	1267	267	967	33
	Всего	1500	400	1067	33
13	1–5	33	Н. о.	33	Н. о.
	<1	33	Н. о.	33	Н. о.
	Всего	66	Н. о.	66	Н. о.
21	1–5	33	Н. о.	33	Н. о.
	<1	234	167	67	Н. о.
	Всего	267	167	100	Н. о.
3	1–5	300	67	233	Н. о.
	<1	1633	1033	500	100
	Всего	1933	1100	733	100
73	1–5	534	167	367	Н. о.
	<1	1300	67	1233	Н. о.
	Всего	1834	234	1600	Н. о.
75	1–5	67	Н. о.	67	Н. о.
	<1	67	Н. о.	67	Н. о.
	Всего	134	Н. о.	134	Н. о.

\* Не обнаружено.

микропластика в других регионах Земного шара может быть существенно выше, что определяется характером землепользования, плотностью населения и другими факторами [5, 17, 38, 48].

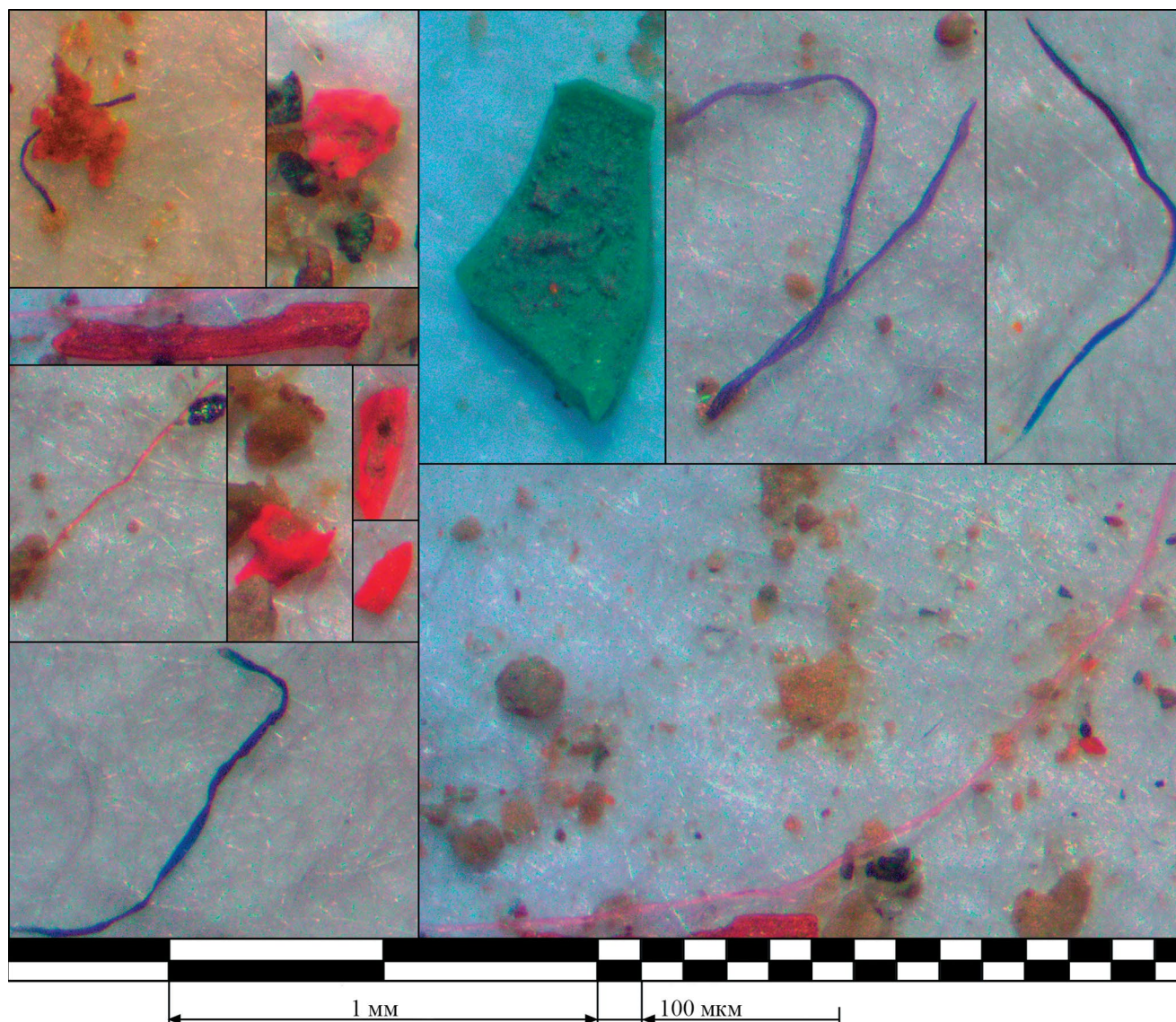
Микропластик представлен различными формами, которые разделены на следующие группы: фрагменты (обломки) неправильной формы, волокна и пленки (рис. 5). Чаще всего микропластик представлен волокнами. В отличие от п-ва Файлдс, где волокна выявлены только в прибрежной зоне (зоне отлива/прилива), в оазисе Вечерний они зафиксированы во всех пробах почв в обеих фракциях (за исключением фракции 1–5 мм в пробе 1). При этом в 70% случаев волокна доминируют. Например, в пробах 1 и 2 на их долю приходится

около 70% общего количества частиц микропластика, в пробе 73–87%.

Второй по распространенности формой частиц микропластика являются фрагменты (обломки) неправильной формы, которые зафиксированы в 5 из 7 проб. В почве пробы 3 во фракции размером <1 мм они преобладают: на их долю здесь приходится 57% общего количества микропластика. Фрагменты таких частиц доминируют и в пробе 21 во фракции размером <1 мм, где на их долю приходится около 71%.

Пленки встречаются в единичных количествах во фракции <1 мм в трех пробах (1, 2 и 3).

По цвету частицы микропластика разнообразны. При этом фрагменты неправильной формы



**Рис. 5** Разнообразие выявленных частиц микропластика на фильтре после фильтрации пробы 3 (фракция <1 мм).

чаще красного цвета, хотя имеются зеленые и белые. Среди волокон встречаются синие, фиолетовые, прозрачные, красные/розовые. На рис. 4 показаны фотографии выявленных различных частиц микропластика в одной из проб почв оазиса.

В большинстве случаев доминируют частицы микропластика размером <1 мм: их доля составляет от 70 до 100%; в двух случаях (пробы 13 и 75) соотношение частиц <1 и 1–5 мм примерно одинаково (рис. 6). Несомненно, приведенная группировка частиц (<1 и 1–5 мм) достаточно условна, в особенности в отношении частиц волокон. Согласно результатам исследований, в обеих фракциях встречаются волокна различной длины.

Преобладание частиц размером <1 мм свидетельствует о возможности их инфильтрации вглубь

почвенных горизонтов, особенно частиц волокон, которые легко мигрируют в пористых грунтах и которые при миграции фрагментируются далее (легко ломаются, расслаиваются и т.д.), как показано в [18, 41]. По оценкам [46], чем тоньше и меньше размер частиц волокон, тем легче их проникновение вглубь почвы.

Поступление микропластика в почву оазиса может осуществляться различными путями как от локальных источников, так и вследствие трансграничного переноса, как это характерно и для других регионов [44]. Так, в отношении фрагментов неправильной формы следует отметить, что преобладающие частицы красного цвета могут быть связаны с обилием красной краски на металлических поверхностях сооружений



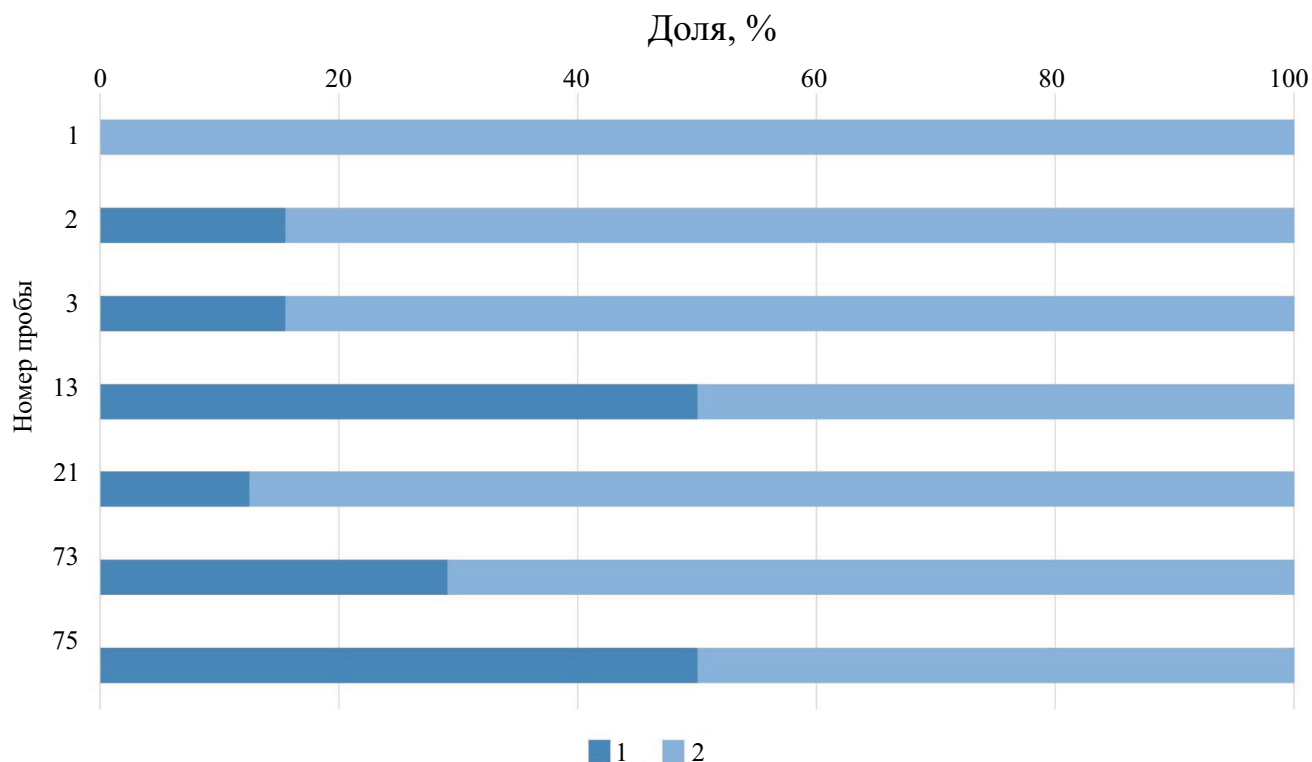


Рис. 6. Соотношение частиц микропластика в пробах почв оазиса Вечерний во фракциях размером: 1 — 1–5 мм, 2 — <1 мм.

Белорусской антарктической станции, которая отшелушивается и поступает в окружающую среду. Аналогичный источник частиц микропластика, в которых установлено высокое содержание фенокисомолы, характерен для антарктических почв на полуострове Файлдс [40]. По данным [29], истирание красок и покрытий с окрашенных зданий, инфраструктурных сооружений и различных транспортных средств может способствовать образованию микропластика и его попаданию в окружающую среду. В целом в местах базирования научных станций поступление частиц пластика и микропластика в почву связано с износом и разрушением различных изделий из полимерных материалов, которые, как и в других регионах Земли, широко используются в Антарктиде.

Источниками волокон могут быть бытовые сточные воды, в которые пластик попадает при стирке белья, а также износ и истирание одежды из синтетических тканей, как это показано в работах [47]. Как известно, для костюмов, предназначенных для работы в холодных условиях, используются полиамид и другие синтетические волокна, а также утеплители (Thinsulate, Shelter и др.), изготовленные из очень тонких полиэфирных нитей. Ранее для этих целей использовался синтепон,

который производился из полиэфирных нитей. Не исключаются и такие источники волокон, как синтетические фалы, шпагат и другие подобные изделия, изготовленные из полиамидных, полипропиленовых и других полимеров. В целом учет производства текстиля для полярных регионов может быть полезным, поскольку за длительный период освоения региона в почвах могут быть аккумулярованы частицы микропластика различного происхождения.

Выделяя волокна как доминирующую форму микропластика в оазисе Вечерний, следует отметить, что они преобладают и в других регионах Антарктики в различных природных средах. Так, по результатам исследования свежеснеговывающего снега вблизи научных станций База Скота и МасМердо установлено, что около 60% частиц микропластика представлены волокнами [11]; предполагаемый источник — износ текстильной одежды, что подтверждается цветом используемой одежды на станциях, а также флажков для обозначения маршрутов, которые также разрушаются со временем от воздействия ветра и ультрафиолета. На доминирование частиц волокон в поверхностных водах ручьев охраняемой территории на п-ве Файлдс указано в работе [25], в донных морских отложениях вблизи базы Mario Zucchelli — в работе [39].

Источниками частиц волокон может быть атмосферный перенос, которому в последнее время уделяется повышенное внимание из-за важной роли формы и размера частиц, влияющих на время их нахождения в воздухе, попадания в тропосферный слой и дальность переноса [9, 14, 16]. Как показано в работе [50], учет толщины волокон приводит к увеличению ожидаемого среднего времени их пребывания в атмосферном воздухе более чем на 450% по сравнению с частицами сферической формы, что предполагает гораздо более эффективный перенос плоских волокон на большие расстояния, чем считалось ранее. По данным [21], большое разнообразие идентифицированных волокон в различных природных средах указывает на то, что загрязнение может быть результатом нескольких диффузных источников и путей транспортировки, в том числе из Южной Америки.

Полученные данные свидетельствуют о загрязнении почв частицами микропластика, однако для оценки уровня загрязнения и опасности накопления микропластика, как и его миграции с различными потоками пока недостаточно данных. Выявленная авторами [40] связь содержания частиц микропластика с органическим веществом позволяет предположить возможность наличия и других связей, например, с содержанием мелкозема, криптогамной растительности, биопленок, влажностью почвы и другими параметрами, характеризующими антарктические почвы [1, 3, 4, 6, 8, 10].

В целом изученность воздействия частиц микропластика на живые организмы Антарктики крайне низкая. Потенциальное негативное воздействие обусловлено способностью микрочастиц адсорбировать загрязняющие вещества на своей поверхности, повышая тем самым их концентрацию в почвах и создавая экологические риски [38]. Кроме того, зафиксированные следы полистирола размером <100 мкм в кишечнике колембол [12], в гуано пингвинов [13] подтверждают появление новых потенциальных стрессоров для антарктической биоты, которая уже находится под воздействием изменения климата и возрастающей антропогенной нагрузки в связи с развитием научных станций и ростом туристической активности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования показали, что апробированная методика, включающая просеивание, плотностное разделение в солевом растворе, центрифугирование, вакуумную фильтрацию и микроскопический анализ, позволяет получить достаточно полное представление о содержании частиц микропластика в антарктических почвах, их формах и разнообразии. Низкое содержание органического вещества в проанализированных почвах (<1%) не потребовало применения

дополнительных процедур по его удалению/разложению.

Установлено, что частицы микропластика присутствуют во всех проанализированных пробах; их содержание варьирует от нескольких десятков частиц до почти 2000 частиц/кг почвы. По размеру преобладают частицы <1 мм, по форме – волокна. Исходя из возможных источников поступления микропластика в почву можно предположить присутствие различных полимеров, в том числе полиэтилентерефталата, полиэтилена, полиэфирных смол и других.

Отсутствие четкой приуроченности повышенного количества частиц микропластика к объектам инфраструктуры и непосредственным местам деятельности на станции свидетельствует о разнообразных источниках и путях их поступления.

Полученные данные являются первыми для данного региона и требуют дополнения и уточнения с целью выявления аккумуляции частиц микропластика в зависимости от свойств почв, особенностей их латерального и вертикального перераспределения с талыми водами. Целесообразным представляется изучение состава сточных вод, а также атмосферных выпадений на снежно-фирновую поверхность для выявления потенциальных локальных источников и оценки потоков с трансграничным переносом.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность руководству 12-й Белорусской антарктической экспедиции за содействие в проведении исследований, организации хранения и транспортировки проб. Авторы выражают признательность С.А. Пунинскому за отбор проб почв, М.А. Кудревич, Ю.Г. Кокош и В.Д. Чернюку за пробоподготовку.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственной программы “Мониторинг полярных районов Земли, создание Белорусской антарктической станции и обеспечение деятельности полярных экспедиций на 2016–2020 годы” и подпрограммы 2 “Развитие деятельности Белорусской антарктической станции” государственной программы “Научно-инновационная деятельность Национальной академии наук Беларуси” на 2021–2025 гг.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы утверждают об отсутствии у них конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абакумов Е.В.* Гранулометрический состав почв Западной Антарктики // Почвоведение. 2010. № 3. С. 324–332. <https://doi.org/10.1134/S1064229310030075>
2. *Абакумов Е.В., Парникоза И.Ю., Луначев А.В., Лодыгин Е.Д., Габов Д.Н., Кунах В.А.* Содержание полициклических ароматических углеводородов в почвах окрестностей антарктических станций // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94. № 7. С. 20–25.
3. *Горячкин С.В., Мергелов Н.С., Таргульян В.О.* Генезис и география почв экстремальных условий: элементы теории и методические подходы // Почвоведение. 2019. № 1. С. 5–19. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19010040>
4. *Кухарчик Т.И., Какарека С.В., Гигиняк Ю.Г.* Почвы полуострова Брокнес, Восточная Антарктида // Почвоведение. 2022. № 12. С. 1473–1488. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22100513>
5. *Кухарчик Т.И., Чернюк В.Д.* Загрязнение почв микропластиком при производстве пенополистирола // Почвоведение. 2022. № 3. С. 370–380. <https://doi.org/10.31857/S0032180X2203008X>
6. *Мергелов Н.С.* Почвы влажных долин в оазисах Ларсеманн и Вестфолль (Земля Принцессы Елизаветы, Восточная Антарктида) // Почвоведение. 2014. № 9. С. 1027–1045. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14090093>
7. *Терехова В.А.* Биотестирование экотоксичности почв при химическом загрязнении: современные подходы к интеграции для оценки экологического состояния (обзор) // Почвоведение. 2022. № 5. С. 586–599. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22050094>
8. *Alekseev I., Abakumov E.* Content of trace elements in soils of Eastern Antarctica: variability across landscapes // Arch Environ Contam Toxicol. 2021. V. 80. P. 368–388. <https://doi.org/10.1007/s00244-021-00808-4>
9. *Allen S., Allen D., Baladima F., Phoenix V.R., Thomas J.L., Le Roux G., Sonke J.E.* Evidence of free tropospheric and long-range transport of microplastic at Pic du Midi Observatory // Nat Commun. 2021. V. 12(1). P. 7242. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27454-7>
10. *Amaro E., Padeiro A., Mão de Ferro A., Mota A.M., Leppe M., Verkulich S., Hughes K.A., Peter H-U., Canário J.* Assessing trace element contamination in Fildes Peninsula (King George Island) and Ardley Island, Antarctic // Marine Poll. Bull. 2015. V. 97. P. 523–527. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.018>
11. *Aves A.R., Revell L.E., Gaw S., Ruffell H., Schuddeboom A., Wotherspoon N.E., LaRue M., McDonald A.J.* First evidence of microplastics in Antarctic snow // The Cryosphere. 2022. V. 16. P. 2127–2145. <https://doi.org/10.5194/tc-16-2127-2022>
12. *Bergami E., Rota E., Caruso T., Birarda G., Vaccari L., Corsi I.* Plastics everywhere: first evidence of polystyrene fragments inside the common Antarctic collembolan *Cryptopygus antarcticus* // Biol. Lett. 2020. V. 16. P. 20200093. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2020.0093>
13. *Bessa F., Ratcliffe N., Otero V., Sobral P., Marques J.C., Waluda C.M., Trathan P.N., Xavier J.C.* Microplastics in gentoo penguins from the Antarctic region // Sci Rep. 2019. V. 9. P. 14191. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50621-2>
14. *Brahney J., Mahowald N., Prank M., Cornwell G., Klimont Z., Matsui H., Prather K.A.* Constraining the atmospheric limb of the plastic cycle // P. Natl. Acad. Sci. USA. 2021. V. 118. P. e2020719118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2020719118>
15. *Caruso G., Bergami E., Singh N., Corsi I.* Plastic occurrence, sources, and impacts in Antarctic environment and biota // Water Biol. Security. 2022. V. 1. P. 100034. <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2022.100034>
16. *Chen G., Feng Q., Wang J.* Mini-review of microplastics in the atmosphere and their risks to humans // Sci. Total Environ. 2020. V. 703. P. 135504. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135504>
17. *Chen Y., Leng Y., Liu X., Wang J.* Microplastic pollution in vegetable farmlands of suburb Wuhan, central China // Environ Pollut. 2020. V. 257. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113449>
18. *Cohen N., Radian A.* Microplastic Textile fibers accumulate in sand and are potential sources of micro(nano)plastic pollution // Environ Sci Technol. 2022. V. 56. P. 17635–17642. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05026>
19. *Corradini F., Meza P., Eguiluz R., Casado F., Huerta-Lwanga E., Geissen V.* Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal // Sci. Total Environ. 2019. V. 671. P. 411–420. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.368>
20. *Cunningham E.M., Ehlers S.M., Dick J.T., Sigwar J.D., Linse K., Dick J.J., Kiriakoulakis K.* High abundances of microplastic pollution in deep-sea sediments: evidence from Antarctica and the southern ocean // Environ. Sci. Technol. 2020. V. 54(21). P. 13661–13671. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03441>
21. *Cunningham E.M., Seijo N.R., Altieri K.E., Audh R.R., Burger J.M., Bornman T.G., Fawcett S., Gwinnett C.M.B., Osborne A.O., Woodall L.C.* The transport and fate of microplastic fibres in the Antarctic: The role of multiple global processes // Front. Mar. Sci. 2022. V. 9. P.1056081. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1056081>
22. *Eriksson C., Burton H.* Origins and biological accumulation of small plastic particles in fur seals from Macquarie Island // Ambio. 2003. V. 32(6). P. 380–4. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-32.6.380>

23. *Fan W., Qiu C., Qu Q., Hu X., Mu L., Gao Z., Tang X.* Sources and identification of microplastics in soils // *Soil & Environmental Health*. 2023. V. 1(2). P. 100019. <https://doi.org/10.1016/j.seh.2023.100019>.
24. *Franeker J.A., Bell P.J.* Plastic ingestion by petrels breeding in Antarctica // *Mar. Pollut. Bull.* 1988. V. 19. P. 672–674.
25. *González-Pleiter M., Edo C., Velázquez D., Casero-Chamorro M.C., Leganés F., Quesada A., Fernández-Piñas F., Rosal R.* First detection of microplastics in the freshwater of an Antarctic Specially Protected Area // *Mar. Pollut. Bull.* 2020. V. 161. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111811>
26. *González-Pleiter M., Lacero, G., Edo C., Lozoya J.P., Leganés F., Fernández-Piñas F., Rosal R., Teixeira-de-Mello F.* A Pilot Study about microplastics and mesopelagic in an Antarctic Glacier // *Cryosphere*. 2021. V. 15. P. 2531–2539. <https://doi.org/10.5194/tc-15-2531-2021>
27. *Grause G., Kuniyasu Y., Chien M.F., Inoue C.* Separation of microplastic from soil by centrifugation and its application to agricultural soil // *Chemosphere*. 2022. V. 288(Pt 3). P. 132654. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132654>.
28. *He D., Luo Y., Lu S., Liu M., Song Y., Lei L.* Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks // *Trends in Analytical Chemistry*. 2018. V. 109. P. 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.006>
29. *Imhof H.K., Laforsch C., Wiesheu A.C., Schmid J., Anger P.M., Niessner R., Ivleva N.P.* Pigments and plastic in limnetic ecosystems: A qualitative and quantitative study on microparticles of different size classes // *Water Res.* 2016. V. 98. P. 64–74. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.015>
30. *Ivar do Sul J.A., Barnes D., Costa M. F., Convey P., Costa E., Campos L.* Plastics in the Antarctic environment: Are we looking only at the tip of the iceberg? // *Oecologia Australis*. 2011. V. 15(1). P. 150–170. <https://doi.org/10.4257/oeco.2011.1501.11>
31. *Kelly A., Lannuzel D., Rodemann T., Meiners K.M., Auman H.J.* Microplastic contamination in east Antarctic sea ice // *Mar. Pollut. Bull.* 2020. V. 154. P. 11130. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111130>.
32. *Kennicutt II M.C., Klein A., Montagna P., Sweet S., Wade T., Palmer T., Sericano J., Denoux G.* Temporal and spatial patterns of anthropogenic disturbance at McMurdo Station, Antarctica // *Environ. Res. Lett.* 2010. V. 5. 10 pp.
33. *Kukharchyk T., Kakareka S., Giginyak Y.* Trace elements in soils of oases of Enderby Land (on an example of Vecherny oasis) // *Czech Polar Reports*. 2018. V. 8(2). P. 162–177. <https://doi.org/10.5817/CPR2018-2-13>
34. *Lacerda A.L.d.F., Rodrigues L.d.S., van Sebille E., Rodrigues F.L., Ribeiro L., Secchi E.R., Kessler F., Proietti M.C.* Plastics in sea surface waters around the Antarctic Peninsula // *Sci Rep*. 2019. V.9. P. 3977. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40311-4>
35. *Li Q., Wu J., Zhao X., Gu X., Ji R.* Separation and identification of microplastics from soil and sewage sludge // *Environ. Pollut.* 2019. V. 254. P. 113076. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113076>
36. *Lin J., Rayhan A. S., Wang Y., Wu Z., Lin Y., Ke H., Li T., Chen K., Cai M.* Distribution and contamination assessment of heavy metals in soils and sediments from the Fildes Peninsula and Ardley Island in King George Island, Antarctica // *Polar Research*. 2021. V. 40. P. 1–11. <https://doi.org/10.33265/polar.v40.5270>
37. *Liu K., Wu T., Wang X., Song Z., Zong C., Wei N., Li D.* Consistent transport of terrestrial microplastics to the ocean through atmosphere // *Environ. Sci. Tech.* 2019. V. 53(18). P. 10612–10619. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03427>
38. *Liu M., Lu S., Song Y., Lei L., Hu J., Lv W., Zhou W., Cao C., Shi H., Yang X., He D.* Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China // *Environ Pollut.* 2018. V. 242(Pt A). P. 855–862. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.051>.
39. *Munari C., Infantini V., Scoponi M., Rastelli E., Corinaldesi C., Mistri M.* Microplastics in the sediments of Terra Nova Bay (Rossa Sea, Antarctica) // *Mar. Pollut. Bull.* 2017. V. 122. P. 161–165. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.039>
40. *Perfetti-Bolaño A., Araneda A., Muñoz K., Barra R.O.* Occurrence and distribution of microplastics in soils and intertidal sediments at Fildes Bay, Maritime Antarctica // *Front. Mar. Sci.* 2022. V. 8. P. 774055. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.774055>
41. *Ranjan V.P., Joseph A., Sharma H.B., Goel S.* Preliminary investigation on effects of size, polymer type, and surface behaviour on the vertical mobility of microplastics in a porous media // *Sci. Total Environ.* 2023. V. 864. P. 161148. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161148>.
42. *Reed S., Clark M., Thompson R., Hughes K.A.* Microplastics in marine sediments near Rothera Research Station, Antarctica // *Mar. Pollut. Bull.* 2018. V. 133. P. 460–463. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.068>.
43. *Rillig M.C.* Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? // *Environ. Sci. Technol.* 2012. V. 46. P. 6453–6454. <https://doi.org/10.1021/es302011r>
44. *Rota E., Bergami E., Corsi I., Bargagli R.* Macro- and microplastics in the Antarctic environment: ongoing assessment and perspectives // *Environments*. 2022. V. 9(93). <https://doi.org/10.3390/environments9070093>
45. *Thomas D., Schütze B., Heinze W.M., Steinmetz Z.* Sample preparation techniques for the analysis of microplastics in soil – A review //

- Sustainability. 2020. V. 12. P. 9074.  
<https://doi.org/10.3390/su12219074>
46. *Waldschläger K., Schüttrumpf H.* Infiltration behavior of microplastic particles with different densities, sizes, and shapes—from glass spheres to natural sediments // *Environ. Sci. Technol.* 2020. V. 54. P. 9366–9373.  
<https://doi.org/10.1021/acs.est.0c01722>
47. *Waller C.L., Griffiths H.J., Waluda C.M., Thorpe S.E., Loaiza I., Moreno B., Pacherras C.O., Hughes K.A.* Microplastics in the Antarctic marine system: an emerging area of research // *Sci. Total Environ.* 2017. V. 598. P. 220–227.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.283>
48. *Wang J., Li J., Liu S., Li H., Chen X., Peng C., Zhang P., Liu X.* Distinct microplastic distributions in soils of different land-use types: A case study of Chinese farmlands // *Environ. Poll.* 2021. V. 269. P. 116199.  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116199>
49. *Xia L.* Research progress on separation and detection methods of microplastics in soil environment // *Academic Journal of Science and Technology.* 2022. V.3. P. 144–147.  
<https://doi.org/10.54097/ajst.v3i3.2918>
50. *Xiao S., Cui Y., Brahney Ja., Mahowald N.M., Li Q.* Long-distance atmospheric transport of microplastic fibres depends on their shapes // *Springer Nature.* 2021. LATEX template.  
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2416912/v1>
51. *Zhang M., Haward M., McGee J.* Marine plastic pollution in the polar south: Responses from Antarctic Treaty System // *Polar Record.* 2020. V. 56(e36). P. 1–9.  
<https://doi.org/10.1017/S0032247420000388>
52. *Zhang S., Yang X., Gertsen H., Peters P., Salánki T., Geissen V.* A simple method for the extraction and identification of light density microplastics from soil // *Sci. Total Environ.* 2018. V. 616–617. P. 1056–1065.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv>

## Microplastics in the Soils of the Thala Hills, East Antarctica

T. I. Kukharchyk<sup>1</sup>, S. V. Kakareka<sup>1</sup>, and K. O. Rabychyn<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, 220076 Belarus*

*\*e-mail: tkukharchyk@gmail.com*

For the first time, on an example of the Vecherny Oasis, Thala Hills, Enderby Land, data on the content of microplastic particles (less than 5 mm) in the soils of East Antarctica were obtained. Seven samples taken from a depth of 0–15 cm were analyzed. Two soil fractions (less than 1 mm and 1–5 mm) were studied in 3 replicates (42 individual samples). The technique for isolating microplastic particles included soil sieving, density separation in zinc chloride solution, centrifugation, vacuum filtration, and microscopic analysis. For filtration, glass fiber filters with a pore diameter of 1.6 μm were used. Quantification of microplastic particles was carried out using a microscope, digital camera and advisory software. It was found that microplastic particles present in all analyzed samples. Their number varies from 66 to 1933 units/kg of dry soil. In most cases, particles less than 1 mm predominate, accounting from 70 to 100%. In 70% of cases, fibers dominate, in 30% – fragments of irregularly shaped plastics; films occur singly. There is no clearly defined confinement of increased amount of microplastic particles to infrastructure facilities; this may be a consequence of the influence of other factors, including local and long-range transport.

*Keywords:* plastic, microscopy, fibers, soil pollution