

УДК 551.577; 504.06 (268.45)

## ПОЛИМЕРНЫЕ ЧАСТИЦЫ В ТВЕРДЫХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА В 2020–2021 гг.

© 2022 г. М. В. Митяев<sup>1,\*</sup>, М. В. Герасимова<sup>1</sup>, Е. И. Дружкова<sup>1</sup>, академик РАН Г. Г. Матишов<sup>1,2</sup>

Поступило 31.03.2022 г.

После доработки 17.04.2022 г.

Принято к публикации 25.04.2022 г.

С декабря 2020 г. по апрель 2021 г. на северо-западе Кольского полуострова, включая инфраструктуру г. Мурманска, проведено исследование количества полимерных частиц в свежеснеговом снеге и потока полимерных частиц на поверхность земли с твердыми атмосферными осадками. Среднее количество полимерных волокон составляло  $783 \pm 48$  ( $n = 48$ ), полимерных фрагментов –  $5890 \pm 884$  ( $n = 48$ ) частиц в литре талой снеговой воды. Поток полимерных частиц с твердыми атмосферными осадками в среднем составлял  $796 \pm 119$  ( $n = 48$ ) частиц на квадратный метр за один снегопад, из них более 85% это полимерные фрагменты размером менее 100 мкм. В г. Мурманске и его окрестностях за один снегопад на квадратный метр земной поверхности в среднем выпадает на 30% больше полимерных частиц, чем в сопредельных фоновых районах региона.

*Ключевые слова:* макрополимерные волокна, микрополимерные волокна, микрополимерные фрагменты, твердые атмосферные осадки, Кольский полуостров

DOI: 10.31857/S2686739722080126

### ВВЕДЕНИЕ

На фоне широкомасштабного роста производства и потребления изделий из синтетических полимеров в последние годы остро встал вопрос загрязнения окружающей среды пластиковыми отходами. На первой Ассамблее Программы ООН по окружающей среде эта проблема была названа “общей проблемой всего человечества” [1].

Однако настоящим бедствием стало глобальное распространение мельчайших полимерных частиц – микропластика [2], которые могут оказывать негативное влияние на живые организмы всех трофических уровней [3, 4].

Микрочастицы пластика были обнаружены повсеместно – в морях, материковых водах, почве, атмосфере, во льдах Арктики и Антарктиды, в озерах и льдах горных стран (Альпы, Гималаи). Причиной и следствием таких открытий стало большое количество работ по этой тематике (около 2000 к 2020 г. [5]). Одним из ключевых моментов изучения мельчайших полимерных частиц является вопрос определения путей их распростра-

нения, основным из которых был признан атмосферный перенос [6]. Вместе с тем, на фоне немалого количества публикаций по проблеме в целом, работ по микропластику в атмосфере к настоящему времени насчитывается всего около двадцати. При этом подавляющее количество из них касается определения содержания микропластика в атмосферном воздухе, что не позволяет количественно охарактеризовать выпадение полимерных частиц на земную поверхность из атмосферы. Для решения этой проблемы целесообразно использовать атмосферные осадки. Так как справедливо считается, что атмосферные осадки очищают воздушную толщу от различных аэрозолей [7–9], наиболее эффективно процесс вымывания осуществляется твердыми атмосферными осадками [6]. Следовательно, наиболее результативным методическим решением в определении масштабов поступления полимерных частиц из атмосферы является проведение исследований свежеснегового снега. Таких исследований, описанных в опубликованной литературе, единицы, все они носят точечный характер, и только в двух работах сделана попытка определить траектории переноса полимерных частиц воздушными массами [6, 10].

В Российском секторе Арктики исследований подобного рода до настоящего времени не проводилось, между тем они особенно актуальны в высокоширотных районах Кольского полуострова,

<sup>1</sup> Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, Мурманск, Россия

<sup>2</sup> Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук, Ростов-на-Дону, Россия

\*E-mail: mityaev@mmbi.info

**Таблица 1.** Станции отбора твердых атмосферных осадков

№ п/п	Станции наблюдения	Широта (с.ш.)	Долгота (в.д.)
южный район			
1	1315-й км, трассы “Кола”	68°17.344	33°28.436
2	устье р. Китца	68°38.016	33°17.940
восточный район			
3	нижнее течение р. Воронья	68°49.057	35°33.747
4	нижнее течение р. Эйнч	68°48.754	35°21.172
5	нижнее течение р. Териберка	68°53.470	34°21.251
6	нижнее течение р. Канинтьярв	68°52.446	34°12.130
западный район			
7	нижнее течение р. Пак	68°46.588	32°21.606
8	55 км трассы “Лотта”	68°40.714	31°54.635
9	90 км трассы “Лотта”	68°41.828	31°22.771
10	120 км трассы “Лотта”	68°43.110	30°39.401
г. Мурманск и его окрестности			
11	г. Мурманск	68°56.549	33°03.357
12	устье р. Тулома	68°48.036	32°34.239
13	нижнее течение ручья Кильдинский	68°53.248	33°17.835

где выпадение твердых атмосферных осадков происходит 180–200 дней в году [11].

Таким образом, целью настоящей работы стало определение количества полимерных частиц, поступающих на земную поверхность с твердыми атмосферными осадками в северо-западной ча-

сти Кольского полуострова за холодный период года.

## РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в северо-западной части Кольского полуострова, от нижнего течения р. Воронья (каскад Серебрянских ГЭС) на востоке до устья реки Лотта (Верхнетуломское водохранилище) на западе (табл. 1). Ранее в северо-западной части Кольского полуострова были выделены четыре фоновых района (по ландшафтно-геологическим особенностям и концентрации нерастворимых частиц в твердых атмосферных осадках) и импактный район г. Мурманска и его окрестностей [12].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования твердых атмосферных осадков, выпавших в северо-западной части Кольского полуострова, осуществлялись с декабря 2020 г. по апрель 2021 г. (табл. 2). Для определения количества полимерных частиц, абсорбированных из атмосферы твердыми атмосферными осадками, проводился отбор свежеснежавшего снега.

Отбор проб осуществлялся в безветренную погоду (скорость ветра <5 м/с) (для исключения вторичного ветрового загрязнения) вдоль трех автомобильных магистралей: Мурманск–Серебрянская ГЭС, Мурманск–Лотта и Мурманск–Санкт-Петербург. Свежеснежавший снег отбирался на расстоянии более 500 м от автомобильных дорог, против ветра чистым пробоотборником из пищевой нержавеющей стали в тщательно промытые стеклянные емкости с притертыми стеклянными крышками объемом 1.0–2.0 литра.

**Таблица 2.** Количество полимерных частиц в свежеснежавшем снеге в 2020–2021 гг.

Месяцы	Концентрация нерастворимых частиц, мг/л	Количество полимерных волокон, N/л		Количество полимерных фрагментов, N/л*
		длина >1 мм	длина <1 мм	
декабрь 2020 г.	3.68 ± 0.25	57 ± 8	331 ± 97	3433 ± 1074 (9 ± 3%)
январь 2021 г.	3.41 ± 0.17	62 ± 8	330 ± 52	4662 ± 1652 (5 ± 1%)
февраль 2021 г.	4.01 ± 0.59	49 ± 11	1435 ± 416	9243 ± 2510 (7 ± 2%)
март 2021 г.	4.08 ± 0.33	34 ± 7	772 ± 206	5413 ± 994 (11 ± 2%)
апрель 2021 г.	4.93 ± 0.95	25 ± 15	491 ± 54	10913 ± 5295 (5 ± 2%)
<b>Районы</b>				
южный	3.56 ± 0.33	54 ± 9	592 ± 98	3667 ± 1171 (7 ± 3%)
западный	3.35 ± 0.19	61 ± 9	944 ± 427	3609 ± 751 (7 ± 1%)
восточный	3.19 ± 0.20	50 ± 10	703 ± 208	8239 ± 2668 (8 ± 2%)
г. Мурманск и его окрестности	5.86 ± 0.42	29 ± 4	638 ± 134	7766 ± 1401 (10 ± 2%)

Примечание. \* В скобках показано процентное содержание полимерных частиц размером менее 20 мкм.

Все реактивы, включая дистиллированную воду, используемые в работе, предварительно фильтровались через ядерные фильтры с диаметром пор 0.9 мкм. Использовалась только стеклянная и металлическая химическая посуда, тщательно вымытая профильтрованной дистиллированной водой. В лаборатории пробы снега подготавливались к фильтрации апробированными методами [5, 7]. Затем пробы талой воды фильтровали под вакуумом в стеклянных фильтрационных насадках через черные ядерные фильтры с диаметром пор 0.45 мкм. Непосредственно после фильтрации фильтры окрашивали раствором Нильского красного в *n*-гексане в течение 30 мин [14]. Фильтры просматривались под бинокулярным микроскопом МБС-10 при увеличениях 10–40× для учета количества нерастворимых макрополимерных волокон. Далее препараты анализировали под эпифлуоресцентным микроскопом Carl Zeiss AxioImager D1 при увеличениях 50–100×. Необходимо отметить, что частицы, которые нельзя с уверенностью отнести к полимерам (частицы размером менее 10 микрон (цена деления окуляр–микрометра), и частицы, не изменившие цвет при окрашивании) при подсчете не учитывались.

Граничным значением для разделения микропластика и макропластика нами принимается 1000 мкм, аналогично значению, обоснованному в работе N.В. Hartmann и соавт. [13]. Разделение частиц основано на изменении свойств природных и искусственных грунтов при взаимодействии с водной средой. Так, грунты, состоящие из обломков, превышающих 1 мм (не менее 90% частиц размером более 1 мм), не обладают молекулярной влагоемкостью, в них отсутствует капиллярное поднятие воды, и они обладают большой водопроницаемостью. С уменьшением размера слагающих грунты частиц (менее 1 мм) активизируются процессы взаимодействия обломков с органическим веществом (резко увеличивается удельная поверхность частиц), повышающие гидрофильные свойства природных и искусственных грунтов.

#### КОНЦЕНТРАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ЧАСТИЦ В СВЕЖЕВЫПАВШЕМ СНЕГЕ

Концентрация нерастворимых частиц в твердых атмосферных осадках на северо-западе Кольского полуострова (декабрь 2020 г.–апрель 2021 г.) в среднем составляла  $3.90 \pm 0.20$  мг/л, ( $n = 48$ , см. табл. 2), что полностью соответствует фоновому содержанию нерастворимых частиц в свежеснеговом снеге для северо-запада Кольского полуострова [7]. Во всех фоновых районах региона средние концентрации нерастворимых частиц за период наблюдений были сопоставимы между собой и не имели достоверных отличий (см. табл. 2).

В импактном районе г. Мурманска концентрация нерастворимых частиц в 1.5 раза больше, чем в сопредельных фоновых районах (в среднем –  $5.86 \pm 0.42$  мг/л,  $n = 17$ ).

В составе нерастворимых частиц из твердых атмосферных осадков постоянно присутствовали волокна и фрагменты различных полимеров. Полимерные волокна длиной более 1 мм (макроволокна) встречались всех цветов, их длина в среднем составляла  $3 \pm 0.3$  см, ( $n = 1350$ ), толщина –  $16 \pm 0.3$  мкм, ( $n = 4750$ ), среднее количество  $48 \pm 5$  нитей в литре (N/л). Средняя длина микроволокон  $757 \pm 34$  мкм ( $n = 3400$ ), их количество составляло  $735 \pm 43$  N/л ( $n = 48$ ). Аномально большое количество полимерных волокон наблюдалось в западном районе в февральские снегопады 2021 г., минимальное – в декабрьские и январские снегопады на всей территории региона. В целом с февраля по апрель 2021 г. количество полимерных волокон в твердых атмосферных осадках уменьшалось (см. табл. 2).

Средний размер полимерных фрагментов  $62 \pm 2$  мкм (при максимальном около 700 мкм), их количество в среднем составляло  $5890 \pm 884$  N/л ( $n = 31000$ ). Максимальное количество полимерных фрагментов в твердых атмосферных осадках ( $>9000$  N/л) наблюдалось в февральские и апрельские снегопады 2021 г., когда воздушные массы поступали в район наблюдения с суши (рис. 1).

В декабре 2020 г., январе и марте 2021 г. воздушные массы, поступающие со стороны Баренцева моря (см. рис. 1), приносили твердые атмосферные осадки с меньшим количеством нерастворимых аэрозолей (в том числе различных полимерных частиц).

#### ПОТОК НЕРАСТВОРИМЫХ ЧАСТИЦ С ТВЕРДЫМИ АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ

Суммарный поток нерастворимых аэрозолей на поверхность земли в 2020–2021 гг. на северо-западе Кольского полуострова в среднем составлял  $2.26 \pm 0.11$  мг м<sup>-2</sup> за один снегопад. В их состав входили полимерные волокна и фрагменты, поток которых в среднем –  $796 \pm 119$  N м<sup>-2</sup> ( $n = 117$ ) за один снегопад, из них: макроволокон –  $24 \pm 2$  N м<sup>-2</sup>, микроволокон –  $70 \pm 16$  N м<sup>-2</sup>, фрагментов –  $678 \pm 98$  N м<sup>-2</sup>.

В фоновых районах поток полимерных частиц с твердыми атмосферными осадками за один снегопад в среднем составлял  $610 \pm 89$  N м<sup>-2</sup> ( $n = 79$ ). В г. Мурманск и его окрестностях в среднем –  $1010 \pm 114$  N м<sup>-2</sup> ( $n = 38$ ). Везде в составе полимерных частиц преобладали фрагменты размером менее 100 мкм, доля которых не опускалась ниже

Обратные траектории переноса воздушных масс- программа NOAA HYSPLIT MODEL

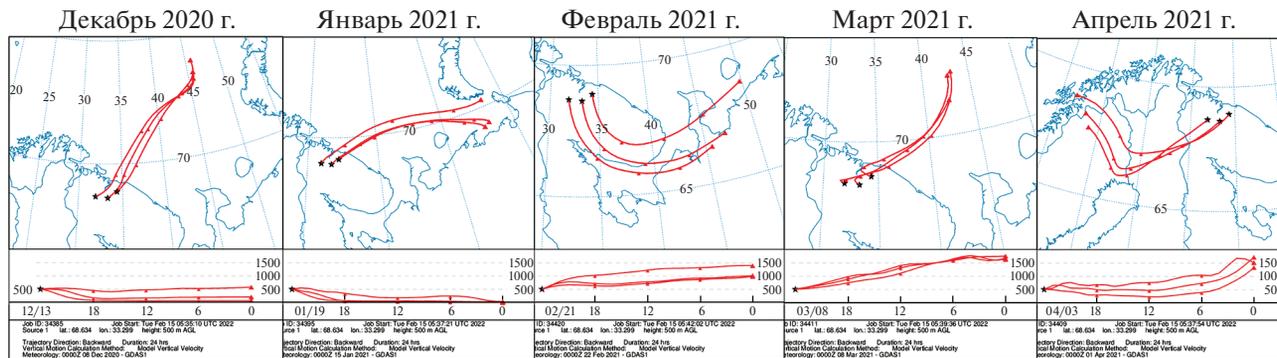


Рис. 1. Обратные траектории поступления воздушных масс, приносившие твердые атмосферные осадки на северо-запад Кольского полуострова, с декабря 2020 по апрель 2021 г.

54%, в среднем составляя  $85 \pm 3\%$  в фоновых районах и  $90 \pm 2\%$  в г. Мурманск и его окрестностях.

В целом с декабря 2020 г. по апрель 2021 г. поступление полимерных макроволокон на поверхность земли уменьшалось (табл. 3). Аномально большое поступление полимерных волокон наблюдалось в феврале 2021 г. ( $>170 \text{ N м}^{-2}$ , см. табл. 3).

Резко аномальным был апрель 2021 г., когда воздушные массы, принесшие атмосферные осадки, поступали со стороны Ботнического залива (см. рис. 1), в это время на  $1 \text{ м}^2$  земной поверхности северо-запада Кольского полуострова суммарное выпадение полимеров превысило 2200 частиц, в другие месяцы количество поступающих на земную поверхность полимерных частиц не превышало  $1000 \text{ N м}^{-2}$  (см. табл. 3).

В целом если в г. Мурманске и его окрестностях за один снегопад на  $1 \text{ м}^2$  поверхности земли в среднем выпадало более 1000 полимерных ча-

стиц, то в фоновых районах региона на единицу площади их поступало в среднем на 30% меньше.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Опираясь на полученные данные и известное количество снегопадов в регионе (табл. 4), можно оценить общее количество полимерных частиц, поступающих на поверхность земли с твердыми атмосферными осадками. С декабря 2020 г. по апрель 2021 г. на северо-западе Кольского полуострова в среднем наблюдалось  $69 \pm 3$  снегопадов ( $n = 250$ ).

Таким образом, исходя из полученных данных, можно с уверенностью утверждать, что за пять месяцев на  $1 \text{ км}^2$  северо-запада Кольского полуострова поступало от 4 до 36 млрд полимерных частиц, в среднем  $12.7 \pm 3.2$  млрд  $\text{N км}^{-2}$  ( $n = 117$ ). Следовательно, поступление полимерных частиц с твердыми атмосферными осадками на

Таблица 3. Поток полимерных частиц с твердыми атмосферными осадками в 2020–2021 гг.

Месяцы	Поток нерастворимых частиц, $\text{мг м}^{-2}$	Поток полимерных волокон, $\text{N м}^{-2}$		Поток полимерных фрагментов, $\text{N м}^{-2}$
		длина $>1 \text{ мм}$	длина $<1 \text{ мм}$	
декабрь 2020 г.	$2.11 \pm 0.07$	$31 \pm 2$	$41 \pm 9$	$466 \pm 166$
январь 2021 г.	$1.90 \pm 0.20$	$29 \pm 4$	$35 \pm 3$	$463 \pm 145$
февраль 2021 г.	$2.15 \pm 0.24$	$24 \pm 5$	$148 \pm 53$	$779 \pm 170$
март 2021 г.	$2.46 \pm 0.20$	$17 \pm 3$	$87 \pm 20$	$633 \pm 98$
апрель 2021 г.	$3.35 \pm 0.41$	$15 \pm 2$	$101 \pm 19$	$2139 \pm 903$
<b>Районы</b>				
южный	$2.09 \pm 0.12$	$31 \pm 5$	$57 \pm 11$	$327 \pm 75$
западный	$1.77 \pm 0.06$	$31 \pm 4$	$76 \pm 9$	$544 \pm 61$
восточный	$1.72 \pm 0.16$	$20 \pm 4$	$59 \pm 14$	$687 \pm 96$
г. Мурманск и его окрестности	$3.62 \pm 0.42$	$16 \pm 2$	$75 \pm 14$	$926 \pm 110$

**Таблица 4.** Количество снегопадов на северо-западе Кольского полуострова

Месяц	Декабрь 2020 г.	Январь 2021 г.	Февраль 2021 г.	Март 2021 г.	Апрель 2021 г.
Среднее	12 ± 2	18 ± 3	13 ± 2	14 ± 2	12 ± 2
Диапазон	7–17	11–20	6–17	7–17	10–16

изученную часть северо-запада Кольского полуострова за зимний сезон 2020–2021 гг. можно оценить в сотни триллионов частиц (от 300 до  $400 \times 10^{12}$  частиц). Из них 79–91% – это полимерные фрагменты и 7–14% – полимерные микроволокна.

Как уже было отмечено выше, работ по микропластику в снежном покрове в мировой литературе крайне мало. Первые такие данные появились в 2019 г. [15]. Исследования проводились в нескольких точках в Арктике и Европе. Во всех пробах были обнаружены полимерные фрагменты (<100 мкм) и волокна (размер от 63 до 14000 мкм). В арктическом снегу содержание синтетических фрагментов составило  $1.76 \times 10^3$  N/л, волокон –  $1.38 \times 10^3$  N/л. Показано присутствие микропластика в высокогорных районах Пиренеев, где преобладали фрагменты размером менее 50 мкм и волокна длиной 100–200 и 200–300 мкм. По приведенным данным среднее поступление полимерных частиц составило 365 N/м<sup>2</sup> в день (фрагментов 249 N м<sup>-2</sup>, волокон 44 N м<sup>-2</sup>) [6]. На Эвересте (8440 м над у.м.) обнаружено  $30 \pm 11$  N/л микропластика [16]. При исследовании всех видов атмосферных осадков в г. Париже суточное поступление микропластика оценивалось в 2.1–355.4 N м<sup>-2</sup> (10% фрагменты, 90% волокна, размер 200–1400 мкм [17]). В г. Гамбург – 136.5–512 N м<sup>-2</sup> (90% фрагменты, 10% волокна размер 63–300 мкм [18]). В г. Дунгуань – 175–313 N м<sup>-2</sup> (20% фрагменты, 80% волокна размер 200–700 мкм [19]). Нужно отметить, что нижняя размерная граница для полимеров зависит от используемых методов и значительно различается у разных авторов (11 мкм у М. Bergmann и соавт. [15], 50 мкм у R. Dris и соавт. [17], 200 мкм у Cai L. и соавт. [19]). Именно этот факт в большей мере и определяет различие в полученных результатах [20]. Следовательно, при отсутствии единого методологического подхода и методической базы сравнение литературных данных, как между собой, так и с нашими результатами, следует проводить очень аккуратно и на данный момент представляется нецелесообразным.

Подводя итог наших исследований, отметим главное, в твердых атмосферных осадках на северо-западе Кольского полуострова в 2020–2021 гг. количество полимерных волокон в среднем составляло  $735 \pm 43$  N/л, полимерных фрагментов –  $5890 \pm 884$  N/л ( $n = 117$ ). Поток полимерных ча-

стиц за один снегопад в среднем составлял  $796 \pm 119$  N м<sup>-2</sup> (макроволокон –  $24 \pm 2$  N м<sup>-2</sup>, микроволокон –  $70 \pm 16$  N м<sup>-2</sup>, фрагментов –  $678 \pm 98$  N м<sup>-2</sup>,  $n = 48$ ). За холодный период года поступление полимерных волокон и фрагментов на земную поверхность северо-запада Кольского полуострова в среднем составляло  $12.7 \pm 3.2$  млрд N км<sup>-2</sup> ( $n = 117$ ), что дает основание оценить суммарное поступление полимерных частиц с твердыми атмосферными осадками на изученную часть региона в 300–400 триллионов частиц.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change. United Nations Environment Programme, Nairobi/ UNEP. 2016.
2. Thompson R.C., et al. Lost at Sea: Where Is All the Plastic? // Science. 2004. V. 304 (5672). P. 838–838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
3. De Sá L.C., Oliveira M., Ribeiro F., et al. Studies of the Effects of Microplastics on Aquatic Organisms: What do We Know and where should We Focus Our Efforts in the Future? // Science of the Total Environment. 2018. V. 645. P. 1029–1039.
4. Bank M.S., Hansson S.V. The Plastic Cycle: A Novel and Holistic Paradigm for the Anthropocene // Environ. Sci. Technol. 2019. V. 53. № 13. P. 7177–7179.
5. Bianco A., Passananti M. Atmospheric Micro and Nanoplastics: An Enormous Microscopic Problem // Sustainability. 2020. V. 12. P. 7327.
6. Allen S., Allen D., Phoenix V.R., et al. Atmospheric Transport and Deposition of Microplastics in a Remote Mountain Catchment // Nature Geoscience. 2019. V. 12. P. 339–344.
7. Козловский Н.В., Блиновская Я.Ю. Микропластик – макропроблема Мирового океана // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 10–11. С. 159–162.
8. Поздняков Ш.Р., 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. Т. 47. № 4. С. 1–9. <https://doi.org/10.31857/S0321059620040148>
9. Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.
10. Liu K., Wu T., Wang X., et al. Consistent Transport of Terrestrial Microplastics to the Ocean through Atmosphere // Environ. Sci. Technol. 2019. V. 53. № 18. P. 10612–10619.

11. Митяев М.В. Мурманское побережье (геолого-геоморфологические и климатические особенности, современные геологические процессы). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2014. 226 с.
12. Митяев М.В., Герасимова М.В., Рыжик И.В. и др. Нерастворимые фракции аэрозолей и тяжелых металлов в свежеснеговом снеге на северо-западе Кольского полуострова в 2018 г. // Лед и снег. 2019. Т. 59. № 3. С. 307–318.  
<https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-3-386>
13. Hartmann N.B., Hüffer T., Thompson R.C., et al. Are We Speaking the Same Language? Recommendations for A Definition and Categorization Framework for Plastic Debris // Environ. Sci. Technol. 2019. V. 53. P. 1039–1047.
14. Shim W.J., Song Y.K., Hong S.H., et al. Identification and Quantification of Microplastics Using Nile Red Staining // Marine Pollution Bulletin. 2016. V. 113. P. 469–476.
15. Bergmann M., Mutzel S., Primpke S., et al. White and Wonderful? Microplastics Prevail in Snow from the Alps to the Arctic // Sci. 2019. Adv. 5, eaax1157.
16. Napper I.E., et al. Reaching New Heights in Plastic Pollution – Preliminary Findings of Microplastics on Mount Everest // 2020. One Earth 3. P. 621–630.
17. Dris R., Gasperi J., Saad M., et al. Synthetic Fibers in Atmospheric Fallout: A Source of Microplastics in the Environment? // Mar. Pollut. Bull. 2016. V. 104. P. 290–293.
18. Klein M., Fischer E.K. Microplastic Abundance in Atmospheric Deposition within the Metropolitan Area of Hamburg, Germany // Sci. Total Environ. 2019. V. 685. P. 96–103.
19. Cai L., Wang J., Peng J., et al. Characteristic of Microplastics in the Atmospheric Fallout from Dongguan City, China: Preliminary Research and First Evidence // Environ. Sci. Pollut. Res. 2017. V. 24. P. 24928–24935.
20. Zhanga Y., Kanga S., Allen S., et al. Atmospheric Microplastics: A Review on Current Status and Perspectives // Earth-Science Reviews. 2020. 203. 103118.

## POLYMER PARTICLES IN SOLID ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN THE NORTH-WEST OF THE KOLA PENINSULA IN 2020–2021

M. V. Mityaev<sup>a, #</sup>, M. V. Gerasimova<sup>a</sup>, E. I. Druzhkova<sup>a</sup>, and Academician of the RAS G. G. Matishov<sup>a, b</sup>

<sup>a</sup> Murmansk Marine Biological Institute, Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russian Federation

<sup>b</sup> Federal Research Center Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation

<sup>#</sup>E-mail: mityaev@mmbi.info

From December 2020 to April 2021, in the north-west of the Kola Peninsula, including the infrastructure of the city of Murmansk, a study was made of the number of polymer particles in freshly fallen snow and the flow of polymer particles to the earth's surface with solid atmospheric precipitation. The average number of polymer fibers was  $783 \pm 48$  ( $n = 48$ ), polymer fragments –  $5890 \pm 884$  ( $n = 48$ ) particles per liter of melted snow water. The flow of polymer particles with solid atmospheric precipitation averaged  $796 \pm 119$  ( $n = 48$ ) particles per square meter per snowfall, of which more than 85% are polymer fragments smaller than 100  $\mu\text{m}$ . In the city of Murmansk and its environs, one snowfall per square meter of the earth's surface averages 30% more polymer particles than in the adjacent background regions of the region.

*Keywords:* macropolymer fibers, micropolymer fibers, micropolymer fragments, solid precipitation, Kola Peninsula