

СКРИНИНГ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ РОССИЙСКИХ РЕК



**¹Ю.А. Франк, ¹Е.Д. Воробьев, ¹С.Н. Рахматуллина,
¹А.А. Трифонов, ¹Д.С. Воробьев**

¹Томский государственный университет

Представлены результаты скрининга количественного содержания микропластика в воде нескольких российских рек, принадлежащих к разным водосборным бассейнам: Тобол, Томь, Тура, Иртыш, Ишим, Вятка, Кама, Чусовая и Печора. Выявлены вторичные формы микропластика, свидетельствующие о вкладе пластиковых отходов в загрязнение рек. Для более полной оценки интенсивности загрязнения, характера и источников микропластика, переносимого российскими реками, рекомендовано проведение пространственно-временных исследований.

Ключевые слова: микропластик, поверхностные воды, реки России

Статья поступила в редакцию 09.04.2022, доработана 17.05.2022, принята к публикации 24.06.2022

Screening of Microplastic Content in Surface Waters of Russian Rivers

¹Yu.A. Frank, ¹E.D. Vorobiev, ¹S.N. Rakhmatullina, ¹A.A. Trifonov, ¹D.S. Vorobiev

¹Tomsk State University, 634050 Tomsk, Russia

Quantitative screening results of microplastics content in waters of some Russian rivers of different watersheds (Tobol, Tom, Tura, Irtysh, Ishim, Vyatka, Kama, Chusovaya and Pechora) are presented. The identified secondary forms of microplastics prove the contribution of plastic waste to river pollution. To better assess the intensity of pollution, the nature and sources of microplastics carried by Russian rivers, spatiotemporal studies are recommended.

Keywords: microplastic, surface water, russian rivers

Received 09.04.2022, revised 17.05.2022, accepted for publication 24.06.2022

DOI: 10.18412/1816-0395-2022-9-67-71

Микропластик — собирательный термин для описания синтетических полимерных частиц различной формы размером менее 5 мм по максимальной оси [1]. Мелкие частицы искусственных полимеров могут попадать в водные экосистемы в виде гранул или микросфер, образующихся во многих промышленных процессах и продуктах личной гигиены, или в процессе последовательного разложения более крупных пластиковых изделий, в основном в результате действия физических и химических факторов. Микропластик

может поступать в водоемы и водотоки из различных точечных и диффузных источников [2]. Диффузные источники (например, пластиковый мусор по берегам) распределены на больших площадях, точечные источники объединяют прямое поступление со сточными водами — канализационными, сельскохозяйственными, ливневыми, промышленными и др.

Основная причина беспокойства по поводу загрязнения водных экосистем микропластиком заключается в его негативных физиологических воздействиях на гидробионты и

теплокровных, а также в потенциальном накоплении в пищевых цепях вплоть до человека [3, 4]. В окружающей среде частицы микропластика могут адсорбировать другие загрязнители (металлы, полициклические ароматические углеводороды, полихлорированные бифенилы и другие), способствуя их транспорту и переносу по трофическим цепям [4].

Проводившиеся ранее исследования рассматривали распространение пластиковых частиц, в первую очередь, как проблему загрязнения океана, в то время как в последние годы микро-

| Точки отбора проб* Sampling points* | | | |
|----------------------------------------|----------------|------------------------------------|---------------------------|
| Река | Бассейн | Ближайший населенный пункт | Географические координаты |
| Тобол | Обь-Иртышский | г. Ялуторовск, Тюменская обл. | 56°37'00.2"N 66°17'43.7"E |
| Томь | "_" | г. Томск | 56°26'56.7"N 84°56'08.2"E |
| Тура | "_" | г. Тюмень | 57°09'44.5"N 65°41'27.2"E |
| Иртыш | "_" | г. Омск | 54°50'55.7"N 73°26'26.3"E |
| Ишим | "_" | с. Абатское, Тюменская обл. | 56°16'47.7"N 70°29'08.0"E |
| Вятка | Бассейн Волги | п. Гирсово, Кировская обл. | 58°43'34.9"N 49°31'48.7"E |
| Кама (Кама-1) | "_" | г. Краснокамск, Пермский край | 58°04'30.4"N 55°41'43.2"E |
| Кама (Кама-2) | "_" | п.г.т. Афанасьев, Кировская обл. | 58°51'59.4"N 53°14'28.1"E |
| Чусовая | "_" | г. Первоуральск, Свердловская обл. | 56°52'28.4"N 59°57'06.8"E |
| Печора | Бассейн Печоры | г. Вуктыл, Республика Коми | 63°39'04.5"N 56°40'17.7"E |

*На картографической основе точки доступны на сайте <http://microplasticsiberia.com>.

пластик был обнаружен в пресных поверхностных водах, подземных водах, снеге и атмосфере [5]. Пресноводные водотоки могут быть важными транспортными путями для микропластика, однако знания о распространении частиц в континентальных пресных водах, включая реки, остаются ограниченными, что затрудняет анализ данных в глобальном контексте.

Цель данной работы — количественная оценка содержания микропластика в поверхностных водах нескольких рек России.

Материалы и методы

Пробы поверхностных вод были отобраны в конце августа — начале сентября 2019 г. из рек Тобол, Томь, Тура, Иртыш, Ишим, Вятка, Кама, Чусовая и Печора. Географические координаты каждой точки отбора и объем исследованных проб приведены в таблице. Отбор проб производился в трех повторностях с берега на глубине около 1 м. Отбирали и исследовали поверхностные воды (15 см), поскольку большинство полимеров менее плотные, чем пресная вода (<1,00 г/см³) и должны оставаться на поверхности за счет минимальных размеров, небольшой массы и сравнительно низкой относительной плотности материалов. Известно, что лишь некоторые типы пластиков, такие как нейлон, полиэтилентерефталат и поливи-

нилхлорид, могут тонуть из-за более высокой плотности (<1,00 г/см³) и при отборе только поверхностного слоя воды могут теряться [6]. Авторами использован пробоотборник системы Манта с диаметром ячеек 0,33 мм. При отборе проб его размещали по направлению течения и закрепляли на 15 мин для сбора частиц, плавающих в верхнем слое воды. Объем воды (от 2,41 до 17,2 м³) рассчитывали исходя из скорости течения в месте отбора пробы, площади сечения пробоотборника и времени экспозиции.

Для количественной оценки содержания микропластика в поверхностных водах рек частицы были извлечены из проб путем последовательного просеивания и разделения по плотности в соответствии с модифицированным протоколом, разработанным и опубликованным Национальным управлением океанических и атмосферных исследований США, NOAA [7]. Анализ воды включал четыре основных этапа: последовательное просеивание, окисление органического вещества пероксидом, разделение по плотности и детекция микропластика. Образцы сначала последовательно пропускали через сита 5 мм и 0,33 мм и тщательно промывали дистиллированной водой. Собранную фракцию подвергали дальнейшей обработке. Органический материал расщепляли с использованием перекиси водо-

рода (30 %) в присутствии ионов Fe²⁺ в качестве катализатора при ~ 70 °С на водяной бане. Процедуру повторяли дважды, чтобы удалить из образцов всю органику. Чтобы отделить пластик от минеральных частиц, проводили разделение по плотности в растворе NaCl (~1,20 г/мл) в течение 12 ч в делительной воронке. Далее частицы собирали на мембранных фильтрах 0,45 мкм из полиэфиров целлюлозы Newstar (Hangzhou Special Paper Industry Co. Ltd, Китай) путем вакуумной фильтрации.

Количественный учет микропластика вели визуальным методом (стереомикроскоп Микромед МС2, оборудованный цифровой камерой и программным обеспечением TourView 3.7.6273), используя морфологические и физические характеристики частиц. При визуальном анализе для определения частиц микропластика придерживались следующих правил [8]: учитывали частицы, отличающиеся по цвету от органических остатков; имеющие равномерную окраску; не имеющие клеточной или выраженной регулярной структуры. Дополнительно проводили тест горячей иглой.

Найденные частицы были классифицированы по форме на четыре группы [1]: (1) микрофрагменты, (2) микропенки, (3) микросферы и (4) микроволокна. Микропластик также был классифицирован на группы по размерам (длина по наибольшей оси), мм: (1) 0,15–0,30; (2) 0,30–1,00; (3) 1,00–2,00; (4) 2,00–3,00; (5) 3,00–4,00 и (6) 4,00–5,00. Размеры частиц измеряли с помощью приложения TourView 3.7.6273.

Для сравнения различий в содержании микропластика в воде на различных сайтах применяли критерий Манна-Уитни. Результаты считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

Микропластик обнаружен во всех исследованных пробах воды. Среднее содержание частиц варьировало от 4,56±0,86 ед./м³

в р. Ишим, притоке второго порядка Оби, до $36,7 \pm 9,44$ ед./м³ в р. Чусовая — притоке Камы (рис. 1). Для сравнения авторы также использовали ранее опубликованные данные по среднему содержанию микропластика в верхнем и среднем течении Оби, которое составило $51,2 \pm 36,5$ ед./м³ [9]. Статистический анализ с использованием критерия Манна-Уитни подтвердил, что концентрации частиц в поверхностных водах рек Ишим и Тура значительно ниже, чем в других реках ($p < 0,05$). Более высокое содержание микропластика может свидетельствовать о постепенном накоплении загрязнителя в речной системе.

Концентрации микропластика в реках мира варьируют от десятых долей до тысяч частиц на кубический метр и зависят как от реального уровня загрязнения, так и от применяемых методов отбора и анализа проб. В работах, посвященных детекции микропластика в водах рек и выполненных на основе визуального учета частиц, встречаются следующие средние концентрации, ед./м³: 4,20 в притоках Великих озер (США) [10], 58–1265 в р. Антуан (Португалия) [11] и 293–4760 в р. Нактонган (Ю. Корея) [12]. Оценено количество микроскопических частиц искусственных полимеров в устьевых участках р. Невы и её притоков, протекающих по территории г. Санкт-Петербурга [13]. В поверхностных водах в устьях р. Смоленки и р. Невы обнаружено 1,10–3,00 единиц микропластика в 1 л, что в пересчете составляет 1100–3000 ед./м³. Показано, что поверхностные и подземные воды г. Нижнего Новгорода довольно сильно загрязнены синтетическими микроволокнами антропогенного происхождения, средние концентрации частиц составили 500–1300 ед./м³ [14]. Максимальная концентрация микроволокон выявлена в устье р. Левинка, притока р. Волги. Опубликованы данные, подтверждающие сравнительно высокое

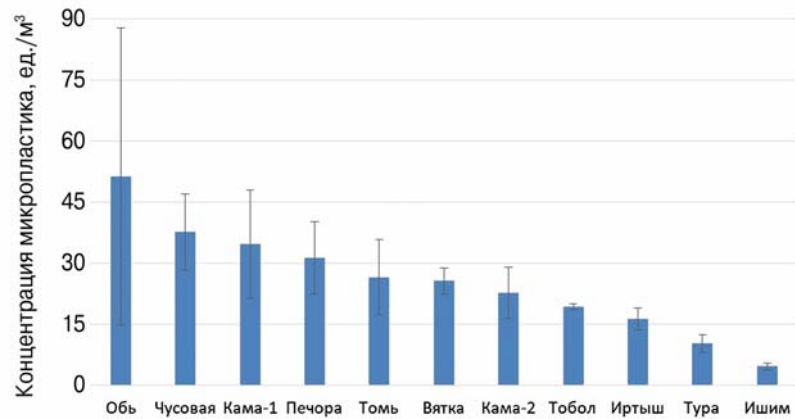


Рис. 1. Концентрации микропластика в поверхностных водах рек России в исследованных точках (вертикальными линиями показано стандартное отклонение)

Fig. 1. Concentrations of microplastics in the surface waters of Russian rivers at the studied points (vertical lines show the standard deviation)

содержание микропластика в снежном покрове в бассейне р. Верхняя Обь, что вносит вклад в загрязнение реки с поверхностным стоком [15].

В результате проведенных исследований в поверхностных водах рек России авторы детектировали разнообразные по

форме, размерам и окраске синтетические частицы (рис. 2).

Во всех исследованных реках преобладал микропластик размером 300–1000 мкм по максимальной оси, эта группа частиц составляла 51–94 % всего микропластика (рис. 3, а). Единственным исключением была

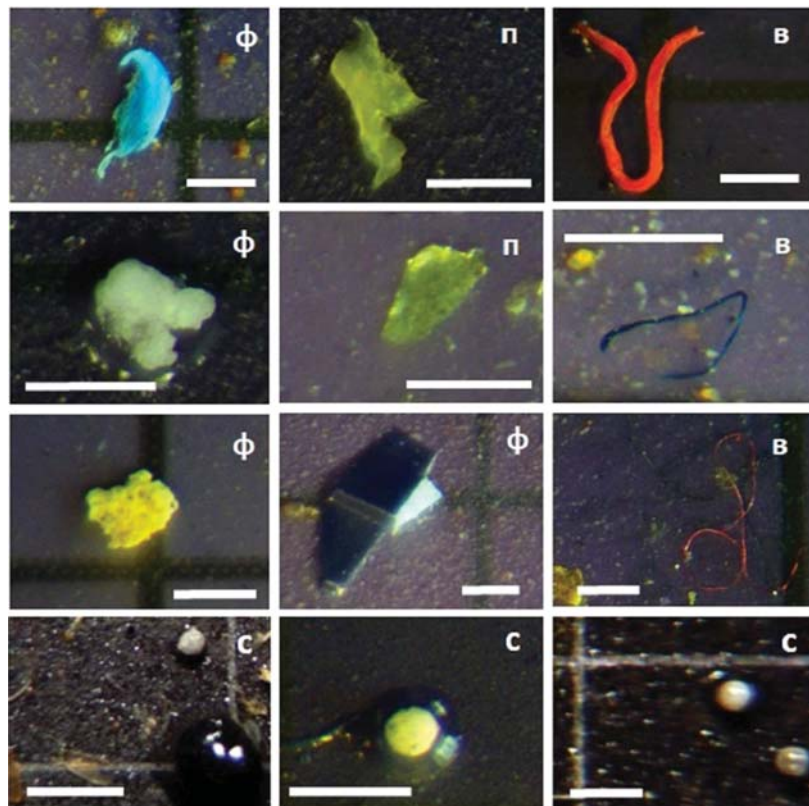


Рис. 2. Частицы микропластика, обнаруженные в поверхностных водах рек России (линейка 0,5 мм):

Fig. 2. Microplastic particles found in the surface waters of Russian rivers (ruler 0.5 mm):

f – fragments of irregular shape; a – fibers; c – spheres; p – films



Рис. 3. Доля частиц микропластика разных размерных групп (а) и формы (б) в реках России
Fig. 3. Proportion of microplastic particles of different size groups (a) and shapes (b) in Russian rivers

р. Тобол, где преобладали более мелкие частицы. Для отбора проб была использована сеть с диаметром ячеек 0,33 мм, что должно было ограничить размер детектируемых частиц. Однако в силу своих физических свойств мелкий микропластик адгезирует к более крупным частицам и также обнаруживается в пробах воды. Доля микропластика, попадающего в категории 2,00–3,00 мм, 3,00–4,00 мм и 4,00–5,00 мм, снижалась пропорционально увеличению размера.

Наиболее распространенной категорией частиц по форме в воде большинства исследованных рек были микрофрагменты (рис. 3, б). В то время как в воде р. Иртыш и Кама преобладали микропленки, что может отражать различия в источниках загрязнения пластиком. Тем не менее, как фрагменты, так и пленки имеют вторичное происхождение, связанное с распадом пластиковых предметов, например бытовых отходов.

Статистически значимое увеличение доли сфер отмечено только для р. Томь Обь-Иртышского бассейна. Пластиковые сферы представляют собой так называемый "первичный микропластик", который попадает в

водные объекты уже в микро-размерном виде. Микросферы и ранее были обнаружены в воде р. Томь ниже по течению г. Кемерово [9], их происхождение, вероятно, связано с промышленным источником в Кузбассе. Волокна выявлены в подавляющем большинстве проб воды, их доля достигала 6,26 и 6,39 % в воде р. Томь и Чусовая (рис. 3, б). Одним из главных источников микроволокон может служить технология стирки синтетического текстиля и последующий сброс со стоками муниципальных очистных сооружений.

Заключение

Таким образом, в ходе проведенного исследования установлено, что фактические концентрации микропластика в поверхностных водах рек России измеряются единицами и десятками частиц на кубический метр. В исследуемых образцах преобладали частицы размером 0,30–1,00 мм, хотя ввиду ограничений диаметра ячеек, использованной для отбора сети, более мелкий микропластик может быть недоучтен. Вторичные формы, а именно фрагменты и пленки, были наиболее широко представлены в образцах, что сви-

детельствует о важной роли пластиковых отходов в загрязнении рек микрочастицами. Дальнейшие исследования должны сопровождаться анализом полимерного состава частиц, что, наряду с данными о морфологии, поможет выявить источники загрязнения рек. Сочетание микроскопии со спектроскопическими методами (ИК-Фурье спектроскопия или спектроскопия комбинационного рассеяния) позволит более точно детектировать микропластик.

Проведенный скрининг показал "моментальный снимок" уровня загрязнения речных вод. Воссоздание полной картины интенсивности загрязнения, характера и источников микропластика, переносимого российскими реками, требует серьезных пространственно-временных исследований. Полученные авторами и другими исследователями данные свидетельствуют о наличии проблемы загрязнения поверхностных пресных вод России микрочастицами искусственных полимеров и являются аргументом для внедрения количественной оценки микропластика в поверхностных водах в практику государственной системы мониторинга.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).

This study was supported by the Tomsk State University Development Programme (Priority-2030)

Авторы благодарят за техническую помощь при отборе и лабораторной обработке проб В.В. Суслева, А.Н. Блохина, Н.А. Родикова и О.А. Кайлер.

Литература

1. Frias J.P.G.L., Nash R. Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*. 2019. Vol. 138. P. 145–147.
2. Horton A.A., Dixon S.J. Microplastics: An introduction to environmental transport processes. *WIREs Water*. 2017. Vol. 5 (12). e1268. DOI:10.1002/wat2.1268.
3. Wang W., Gao H., Jin S., Li R., Na G. The ecotoxicological effects of microplastics on aquatic food web, from primary producer to human. A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019. Vol. 173. P. 110–117.
4. Campanale C., Massarelli C., Savino I., Locaputo V., Uricchio V.F. A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17. 1212. DOI:10.3390/ijerph17041212.
5. Rochman C.M., Hoellein T. The global odyssey of plastic pollution. Thinking big about small particles reveals new features of the microplastic cycle. *Science*. 2020. Vol. 368. P. 1184–1185.
6. Andrady A.L. The plastic in microplastics. A review. *Marine Pollution Bulletin*. 2017. Vol. 119. P. 12–22.
7. Masura J., Baker J., Foster G., Arthur C. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. Silver Spring, NOAA Marine Debris Division, 2015. 39 p.
8. Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson R.C., Thiel M. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environ Sci Technol*. 2012. Vol. 46(6). P. 3060–3075.
9. Frank Yu.A., Vorobiev E.D., Vorobiev D.S., Trifonov A.A., Antsiferov D.V., Soliman Hunter T., Wilson S.P., Stre-zov V. Preliminary Screening for Microplastic Concentrations in the Surface Water of the Ob and Tom Rivers in Siberia, Russia. *Sustainability*. 2021. Vol. 13. P. 80. DOI: 10.3390/su13010080.
10. Baldwin A.K., Corsi S.R., Mason S.A. Plastic debris in 29 great lakes tributaries: Relations to watershed attributes and hydrology. *Environ. Sci. Technol*. 2016. Vol. 50. P. 10377–10385.
11. Rodrigues M.O., Abrantes N., Gonzalves F.J.M., Nogueira H., Marques J.C., Gonzalves A.M.M. Spatial and temporal distribution of microplastics in water and sediments of a freshwater system (Antur River, Portugal). *Sci. Total Environ*. 2018. Vol. 633. P. 1549–1559.
12. Eo S., Hong S.H., Song Y.K., Han G.M., Shim W.J. Spatiotemporal distribution and annual load of microplastics in the Nakdong River, South Korea. *Water Res*. 2019. Vol. 160. P. 228–237.
13. Pozdnyakov Sh.R., Ivanova E.V., Guzeva A.V., Shalunova E.P., Martinson K.D., Tikhonova D.A. Studying the concentration of microplastic particles in water, bottom sediments and subsoils in the coastal area of the Neva Bay, the Gulf of Finland. *Water Resources*. 2020. Vol. 47 (4). P. 599–607.
14. Yasinskii S.V., Venitsianov E.V., Kashutina E.A., Sidoro-va M.V., Ershova A.A., Makeeva I.N. Contribution of microparticles to the transport of pollution by rivers and groundwaters in a large city. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ*. 2021. Vol. 834 (1). 012047. DOI: 10.1088/1755-1315/834/1/012047.
15. Malygina N.S., Biryukov R.Yu., Kuryatnikova N.A., Mitrofanova E.Yu., Pershin D.K., Zolotov D.V., Chernykh D.V. Microplastics in the snow cover of the south of Western Siberia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 611. 012034. DOI: 10.1088/1755-1315/611/1/012034.

References

1. Frias J.P.G.L., Nash R. Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*. 2019. Vol. 138. P. 145–147.
2. Horton A.A., Dixon S.J. Microplastics: An introduction to environmental transport processes. *WIREs Water*. 2017. Vol. 5 (12). e1268. DOI:10.1002/wat2.1268.
3. Wang W., Gao H., Jin S., Li R., Na G. The ecotoxicological effects of microplastics on aquatic food web, from primary producer to human. A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019. Vol. 173. P. 110–117.
4. Campanale C., Massarelli C., Savino I., Locaputo V., Uricchio V.F. A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17. 1212. DOI:10.3390/ijerph17041212.
5. Rochman C.M., Hoellein T. The global odyssey of plastic pollution. Thinking big about small particles reveals new features of the microplastic cycle. *Science*. 2020. Vol. 368. P. 1184–1185.
6. Andrady A.L. The plastic in microplastics. A review. *Marine Pollution Bulletin*. 2017. Vol. 119. P. 12–22.
7. Masura J., Baker J., Foster G., Arthur C. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. Silver Spring, NOAA Marine Debris Division, 2015. 39 p.
8. Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson R.C., Thiel M. Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environ Sci Technol*. 2012. Vol. 46(6). P. 3060–3075.
9. Frank Yu.A., Vorobiev E.D., Vorobiev D.S., Trifonov A.A., Antsiferov D.V., Soliman Hunter T., Wilson S.P., Stre-zov V. Preliminary Screening for Microplastic Concentrations in the Surface Water of the Ob and Tom Rivers in Siberia, Russia. *Sustainability*. 2021. Vol. 13. P. 80. DOI: 10.3390/su13010080.
10. Baldwin A.K., Corsi S.R., Mason S.A. Plastic debris in 29 great lakes tributaries: Relations to watershed attributes and hydrology. *Environ. Sci. Technol*. 2016. Vol. 50. P. 10377–10385.
11. Rodrigues M.O., Abrantes N., Gonzalves F.J.M., Nogueira H., Marques J.C., Gonzalves A.M.M. Spatial and temporal distribution of microplastics in water and sediments of a freshwater system (Antur River, Portugal). *Sci. Total Environ*. 2018. Vol. 633. P. 1549–1559.
12. Eo S., Hong S.H., Song Y.K., Han G.M., Shim W.J. Spatiotemporal distribution and annual load of microplastics in the Nakdong River, South Korea. *Water Res*. 2019. Vol. 160. P. 228–237.
13. Pozdnyakov Sh.R., Ivanova E.V., Guzeva A.V., Shalunova E.P., Martinson K.D., Tikhonova D.A. Studying the concentration of microplastic particles in water, bottom sediments and subsoils in the coastal area of the Neva Bay, the Gulf of Finland. *Water Resources*. 2020. Vol. 47 (4). P. 599–607.
14. Yasinskii S.V., Venitsianov E.V., Kashutina E.A., Sidoro-va M.V., Ershova A.A., Makeeva I.N. Contribution of microparticles to the transport of pollution by rivers and groundwaters in a large city. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ*. 2021. Vol. 834 (1). 012047. DOI: 10.1088/1755-1315/834/1/012047.
15. Malygina N.S., Biryukov R.Yu., Kuryatnikova N.A., Mitrofanova E.Yu., Pershin D.K., Zolotov D.V., Chernykh D.V. Microplastics in the snow cover of the south of Western Siberia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 611. 012034. DOI: 10.1088/1755-1315/611/1/012034.

Ю.А. Франк – канд. биол. наук, директор центра исследования микропластика в окружающей среде, Национальный исследовательский Томский государственный университет (НИ ТГУ), e-mail: yulia.a.frank@gmail.com • Е.Д. Воробьев – лаборант центра исследования микропластика в окружающей среде, НИ ТГУ, e-mail: vorobievegor@gmail.com • С.Н. Рахматулина – мл. науч. сотрудник центра исследования микропластика в окружающей среде, НИ ТГУ, e-mail: svetik_98_76@bk.ru • А.А. Трифонов – мл. науч. сотрудник научно-производственной лаборатории инженерных изысканий и технологий природопользования, НИ ТГУ, e-mail: packtrif@mail.ru • Д.С. Воробьев – д-р биол. наук, директор, Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства, НИ ТГУ, e-mail: danilvorobiev@yandex.ru

Yu.A. Frank – Cand. Sci. (Biol.), Director of the Research Center for Microplastics in the Environment, National Research Tomsk State University (NR TSU), e-mail: yulia.a.frank@gmail.com • E.D. Vorobiev – Laboratory Assistant at the Research Center for Microplastics in the Environment, NR TSU, e-mail: vorobievegor@gmail.com • S.N. Rakhmatullina – Junior Research Fellow at the Research Center for Microplastics in the Environment, NR TSU, e-mail: svetik_98_76@bk.ru • A.A. Trifonov – Junior Research Fellow at the R&D Laboratory of Engineering Surveys and Environmental Technologies, NR TSU, e-mail: packtrif@mail.ru • D.S. Vorobiev – Cand. Sci. (Biol.), Director, Institute of Biology, Ecology, Edaphology, Agriculture and Forestry, NR TSU, e-mail: danilvorobiev@yandex.ru