

Научная статья

DOI 10.15593/24111678/2022.03.05

УДК 504.06

В.К. Салахова¹, К.Г. Пугин^{2,3}, Л.В. Рудакова¹¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия²Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н. Прянишникова, Пермь, Россия³Пермский филиал Волжского государственного университета водного транспорта,
Пермь, Россия

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МИКРОПЛАСТИКА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Представлены виды формируемого техногенного воздействия при бесконтрольном размещении отходов пластика в окружающей среде. Приведена классификация основных видов пластиков. Произведен анализ и обобщение научных результатов, полученных различными авторами, изучающими техногенное воздействие микропластиков. На основании анализа научных публикаций установлено, что на сегодняшний день микропластик начинает занимать лидирующую позицию среди веществ, формирующих техногенную нагрузку на все объекты окружающей среды. Величина угрозы, формируемой микропластиком, пока не поддается численной оценке и оценивается только в виде рисков, к которым можно отнести химическое и физическое воздействие, оказываемое микропластиком на живые организмы. Химическое воздействие может заключаться в изменении биохимических процессов, протекающих внутри живых организмов, а также в изменении состава и структуры их среды обитания. Физическое воздействие представляет собой засорение среды обитания и нарушение физиологических процессов живых организмов. Одним из путей предотвращения образования и распространения микропластика в окружающей среде является использование отходов пластика в инновационных, ресурсосберегающих технологиях получения строительных материалов, исключающих формирование углеродного следа.

Ключевые слова: техногенное воздействие, микропластик, макропластик, отходы пластика, окружающая среда, ресурсосберегающие технологии, утилизация.

V.K. Salakhova¹, K.G. Pugin^{2,3}, L.V. Rudakova¹¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation²Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov,
Perm, Russian Federation³Volga State Academy of Water Transport, Perm Branch, Perm, Russian Federation

FORMATION OF MAN-MADE IMPACT OF MICROPLASTIC ON THE ENVIRONMENT

The article presents the types of man-made impact formed by uncontrolled placement of plastic waste in the environment. The classification of the main types of plastics is presented. An analysis and generalization of the scientific results obtained by various authors studying the technogenic effects of microplastics was carried out. Based on the analysis of scientific publications, it was found that today microplastics are beginning to take a leading position among substances that form a man-made load on all environmental objects. The magnitude of the threat posed by microplastics cannot yet be quantified, and is assessed only in the form of risks, which include chemical and physical effects exerted by microplastics on living organisms. Chemical impact may consist in changing the biochemical processes occurring inside living organisms, as well as in changing the composition and structure of their habitat. Physical impact is a contamination of the habitat and a violation of the physiological processes of living organisms. One of the ways to prevent the formation and spread of microplastics in the environment is the use of plastic waste in innovative, resource-saving technologies for the production of building materials that exclude the formation of a carbon footprint.

Keywords: anthropogenic impact, microplastics, macroplastics, plastic waste, environment, resource-saving technologies, recycling.

С момента начала крупнотоннажного производства пластмасс в 1950-х гг. их количество растёт в геометрической прогрессии. В аналитическом исследовании рынка отходов производства, проведенного НИУ «Высшая школа экономики» (автор Волкова) за 2018 г. указывается, что мировое производство изделий из пластика увеличилось с 322 млн т в 2015 г. до 348 млн т в 2017 г. С учетом оценочных темпов роста населения по всему миру, а также текущего потребления пластмассовых изделий прогнозируется, что производство пластика удвоится к 2025 г. и более чем утроится к 2050 г.

Пластмассы в большом объеме применяются в упаковочных и строительных материалах, а также в автомобильной промышленности, кроме того, они часто используются в качестве изоляционных материалов. Пластмассы находят широкое применение в медицине, сельском и жилищно-коммунальном хозяйстве и т.д. Такое широкое распространение пластмасс обуславливается их привлекательными для потребителя физическими свойствами, такими как гибкость, эластичность, прочность, легкость стерилизации и очищения.

Устойчивость пластика к воздействию внешних факторов, с одной стороны, является их значительным достоинством, с другой стороны, формирует необходимость разрабатывать систему обращения с пластиковыми отходами, которая бы учитывала особенности формирования техногенного воздействия данных отходов на окружающую среду. Растущие объёмы производства и накопления пластика в окружающей среде в настоящее время достигли такого уровня, что формируют не только засорение объектов окружающей среды, но и новые виды техногенного воздействия. Находясь продолжительное время в окружающей среде, пластмассы способны образовывать опасные для живых организмов химические соединения. Уровень опасности данных соединений во многом зависит от химического состава пластика и оказываемого на них внешнего воздействия окружающей среды. Ранее основное внимание сосредотачивалось на засорении окружающей среды макропластиком, который представляет собой частицы пластика размером более 5 мм. Однако с развитием научных знаний об антропогенном воздействии на окружающую среду исследователи развитых стран всё больше внимания направляют на изучение микропластика (размер фрагментов < 5 мм), который является результатом деструкции макропластика. В связи с этим анализ и обобщение научных результатов, полученных различными авторами, изучающими техногенное воздействие микропластиков, является актуальной темой исследования.

подавляющее большинство производимых сегодня пластиков изготавливают из невозобновляемых нефтехимических продуктов: ископаемой нефти, природного газа и угля. Выделяют семь основных видов пластика, которые различаются по химическому составу, сырьевому компоненту, используемым модификаторам и физико-механическим свойствам. Химический состав, а также физические свойства основных видов пластика представлены в таблице.

Химический состав и физические свойства основных видов пластика

Параметр	Пример						
	ПЭТ (PET)	ПНД (HDPE)	ПВХ (PVC)	ПВД (LDPE)	ПП (PP)	ПС (PS)	Other
Химическая формула	$(C_{10}H_8O_4)_n$	$(C_2H_4)_n$	$(C_2H_3Cl)_n$	$(C_2H_4)_n$	$(C_3H_6)_n$	$(C_8H_8)_n$	Различная
Сырье	Диметиловый эфир, терефталевой кислоты с этиленгликолем	Этилен	Этилен и связанный хлор	Этилен	Пропилен	Стирол (винилбензол)	Полиэфирные волокна
Температура плавления, °C	260	129–135	150–220	125–132	160–170	240	Различная
Плотность, г/см ³	1,33–1,42	0,93–0,97	1,34–1,34	0,90–0,93	0,90–0,92	1,05	Различная

Пластики, представленные в таблице, состоят в основном из полимеризованных газов, а для придания им гибкости, эластичности, устойчивости к воздействию окружающей среды, повышения ударной вязкости в процессе производства к ним добавляют различные модификаторы, стабилизаторы и антиоксиданты (нафталинсульфонаты, формальдегид, амиды жирных кислот, силоксан, эфиры фталевой и тримеллитовой кислоты, диоктилфталат, диметилфталат, дибутилфталат, дибутилсебацат), которые при деструкции пластиков могут поступать в окружающую среду, формируя вторичную техногенную нагрузку. В этом случае пластик можно рассматривать в качестве «транспортера» загрязняющих веществ [1].

Имея такой разнообразный химический состав, пластики способны формировать негативное воздействие на все геосферные оболочки Земли, изменяя при этом их структуру и состав, а также условия существования в них живых организмов.

В частности, Christine Gaylarde et al. [2] в своём исследовании утверждают, что на сегодняшний день частицы микропластика обнаружены уже в 90 % поверхностных вод во всём мире. Основным источником загрязнения микропластиком в океане выступают сточные воды после бытовой стирки синтетической одежды. Помимо этого авторы указывают на то, что текстильные изделия, изготовленные из пластмасс, могут выделять микроволокна на протяжении всего своего жизненного цикла.

Andrew Turner et al. [3] провели исследование о влиянии микропластика на морские организмы. В своём эксперименте они оценивали физиологические и гистопатологические изменения, а также изменения ДНК морского двустворчатого моллюска (*Mytilus galloprovincialis*) в результате воздействия на его организм микропластика. В ходе исследования ученые выяснили, что микропластик может накапливаться в пищеварительной системе и жабрах моллюска, вызывая тем самым различные патологические процессы, например, гипертрофию жабр, а также атрофию и некроз пищеварительной системы.

Philipp Wanneg в своём исследовании утверждает, что микропластик способен загрязнять не только гидросферу, но и педосферу [4]. Попадание пластика в почву происходит при использовании осадка сточных вод в качестве удобрения, использования компоста, мульчирования, орошения почвы неочищенными отходами и поверхностными водами. Автор больше всего внимания уделяет вопросу вертикальной миграции частиц микропластика в почве, а также вызванное пластиками усиление переноса пестицидов в нижележащие системы водоносных горизонтов сельскохозяйственных почв.

Hongwei Yu, Weixiao Qi et al. провели эксперимент, нацеленный на определение влияния различных типов микропластиков на химические свойства почвы, микробные сообщества, а также рост растений водно-болотных угодий. В результате исследования авторы пришли к выводу, что содержание микропластика в почве вызывает высокие концентрации активных форм кислорода в растениях, что может привести к усилению перекисного окисления липидов и активации системы антиоксидантной защиты [5; 6].

При разрушении пластмассовых изделий, микропластик способен проникать не только в верхние слои гидросферы и литосферы, но также и в атмосферу. Группа ученых из Франции и Великобритании – Johnny Gasperi, Stephanie L. Wright et al. [7; 8] – утверждает, что микропластик может вдыхаться человеком, вызывая при этом локальные биологические реакции. Пластик и его добавки (красители, пластификаторы) могут оказывать воздействие на здоровье человека (репродуктивную токсичность, канцерогенность и мутагенность). Связанные с пластмассами загрязнители, такие как полициклические ароматические углеводороды, могут десорбироваться и вызывать генотоксичность.

Бразильские ученые Luís Fernando Amato-Lourenço, Regiani Carvalho-Oliveira et al. [9] провели исследование о наличии частиц микропластика в тканях легких человека, полученных при вскрытии. Эксперимент показал, что микропластик размером от 5,5 до 16,8 мкм был обнаружен в 13 из 20 образцов ткани. Наиболее часто встречающимися видами пластика являлись полиэтилен и полипропилен.

Обнаружение и идентификация частиц микропластика в воздухе остаются недостаточно изученным из-за сложности отбора проб и их обработки. Однако группа ученых из Португалии [10] разработала метод определения концентрации переносимых по воздуху микропластиковых волокон путем удаления органических веществ с помощью перекиси водорода и последующем удалением минеральных веществ при разделении их по плотности с помощью иодида натрия. Ученые утверждают, что эффективность этого метода составляет 94,4 %.

Анализ представленных выше материалов позволяет сделать вывод, что на сегодняшний день микропластик начинает занимать лидирующую позицию среди веществ, формирующих техногенную нагрузку на все объекты окружающей среды. Величина угрозы, формируемой микропластиком, пока не поддается численной оценке и оценивается только в виде рисков, к которым можно отнести химическое и физическое воздействие, оказываемое микропластиком на живые организмы. Химическое воздействие может заключаться в изменении биохимических процессов, протекающих внутри живых организмов, а также в изменении состава и структуры их среды обитания. В свою очередь, физическое воздействие представляет собой засорение среды обитания и нарушение физиологических процессов живых организмов [11; 12].

Данные воздействия происходят вследствие разрыва полимерных связей на молекулярном уровне. В естественной среде пластик разлагается в результате термического окисления, гидролитического расщепления и фотоокисления, что приводит к образованию терефталевой кислоты, этиленгликоля, карбоновых кислот и альдегидов (рисунок). Кроме того, происходит расщепление эфирных связей, при этом отмечается общая деструкция структуры пластика с образованием частиц микропластика разного размера.

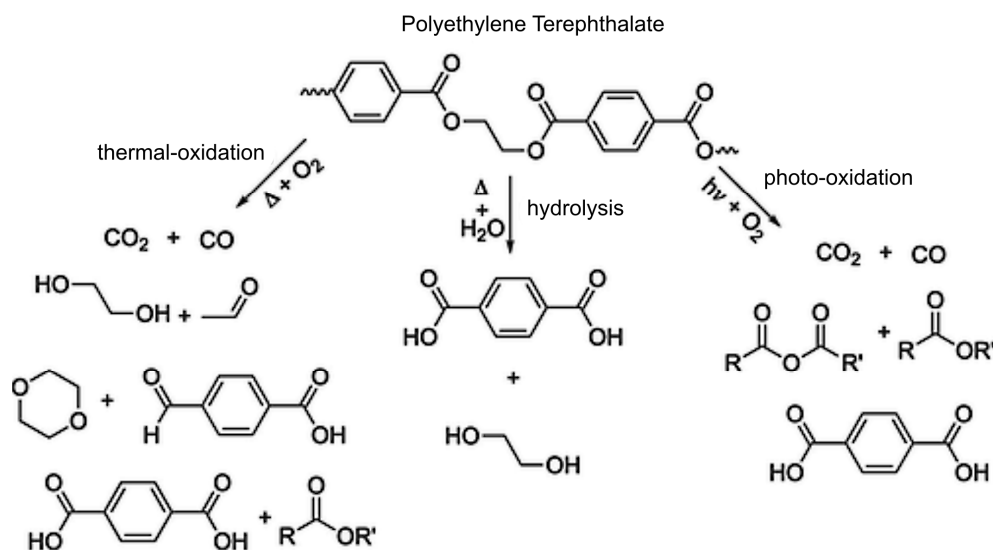


Рис. Варианты термического окисления, гидролитического расщепления и фотоокисления ПЭТ [1]

Более подробно деструкция пластиков описана в статье авторов из калифорнийского университета [1]. Согласно их исследованию, к различным побочным продуктам деградации пластиков могут относиться микро- и наноразмерные пластмассы с повышенной биодоступностью и связанным с этим потенциальным негативным воздействием на экосистемы во всей пищевой цепи.

Такое поведение пластиков формирует физическое и химическое изменение геосферных оболочек Земли, что в свою очередь приводит к нарушению жизненно важных функций, обеспечивающих биоразнообразие живых организмов.

Проведенное аналитическое исследование по материалам научных публикаций о формировании техногенного воздействия пластиков на окружающую среду позволяет сделать вывод, что в течение длительного времени учёные уделяли большое внимание распространению и техногенному воздействию на окружающую среду макропластика, однако в последние годы возрастает количество исследований о негативном воздействии на окружающую среду микро-

пластика. Несмотря на возрастающее число данных исследований, они являются разрозненными и несистематизированными. На сегодняшний день отсутствует единая система обнаружения, идентификации и оценки тяжести последствий воздействия микропластика на окружающую среду и живые организмы.

Затруднение по идентификации и оценке тяжести последствий воздействия микропластика на объекты окружающей среды обусловлены малой скоростью деградации пластиков под действием внешних сил окружающей среды, рассеиванием пластиков на значительные территории с образованием микро- и наноразмерных частиц с повышенной биодоступностью. Большие объемы поступления пластиков в окружающую среду, неконтролируемая их доступность живым организмам приводят к нарушению жизненно важных функций природы, обеспечивающих биоразнообразие живых организмов.

Одним из путей предотвращения образования и распространения микропластика в окружающей среде является использование отходов пластика в инновационных, ресурсосберегающих технологиях получения строительных материалов, исключая формирование углеродного следа. Технология утилизации должна обеспечивать включение пластика в структуру материала с образованием прочных физических, химических связей. Проведенные ранее исследования показали потенциальную возможность использования отходов пластика в составе строительных материалов, без формирования техногенной нагрузки на объекты окружающей среды [13–15]. Такой подход обеспечит снижение рисков формирования техногенного воздействия пластиков на окружающую среду, позволит использовать материальный ресурс и сократить потребление природных сырьевых материалов.

Список литературы

1. Degradation Rates of Plastics in the Environment / Ali Chamas, Hyunjin Moon, Jiajia Zheng, Yang Qiu, Tarnuma Tabassum, Jun Hee Jang, Mahdi Abu-Omar, Susannah L. Scott, Sangwon Suh // *ACS Sustainable Chem. Eng.* – 2020. – Vol. 8. – P. 3494–3511.
2. Christine Gaylarde, Jose Antonio Baptista-Neto, Estefan Monteiroda Fonseca. Plastic microfibre pollution: how important is clothes' laundering? // *Heliyon.* – 2021. – Vol. 7, № 5. – e07105.
3. Nashami Alnajjar, Awadhesh N. Jha, Andrew Turner. Impacts of microplastic fibres on the marine mussel, *Mytilus galloprovincialis* // *Chemosphere.* – 2021. – Vol. 262. – P. 128290.
4. Philipp Wanner. Plastic in agricultural soils – A global risk for groundwater systems and drinking water supplies? – A review // *Chemosphere.* – 2021. – Vol. 264, № 1. – P. 128453.
5. Thushari G.G.N., Senevirathna J.D.M. Plastic pollution in the marine environment // *Heliyon.* – 2020. – Vol. 6, № 8. – P.e04709.
6. Microplastic residues in wetland ecosystems: Do they truly threaten the plant-microbe-soil system? / Hongwei Yu, Weixiao Qi, Xiaofeng Cao, Jingwen Hu, Yang Li, Jianfeng Peng, Chengzhi Hu, Jiuhui Qu // *Environment International.* – 2021. – Vol. 156. – P. 106708.
7. Microplastics in air: Are we breathing it in? / Johnny Gasperi, Stephanie L. Wright, Rachid Dris, France Collard, Corinne Mandin, Mohamed Guerrouache, Valérie Langlois, Frank J. Kelly, Bruno Tassin // *Current Opinion in Environmental Science & Health.* – 2018. – Vol. 1. – P. 1–5.
8. Airborne emissions of microplastic fibres from domestic laundry dryers / Stacey O'Brien, Elvis D. Okoffo, Jake W. O'Brien, Francisca Ribeiro, Xianyu Wang, Stephanie L. Wright, Saer Samanipour, Cassandra Rauert, Tania Yessenia Alajo Toapanta, Rizsa Albarracin, Kevin V. Thomas // *Science of The Total Environment.* – 2020. – Vol. 747. – P. 141175.
9. Presence of airborne microplastics in human lung tissue / Luís Fernando Amato-Lourenço, Regiani Carvalho-Oliveira, Gabriel Ribeiro Júnior, Luciana dos Santos Galvão, Rômulo Augusto Ando, Thais Mauad // *J. Hazard Mater.* – 2021. – Vol. 416. – P. 126124.
10. An easy method for processing and identification of natural and synthetic microfibers and microplastics in indoor and outdoor air / Joana C. Prata, Joana L. Castro, João P. da Costa, Armando C. Duarte, Mário Cerqueira, Teresa Rocha-Santos // *MethodsX.* – 2020. – Vol. 7. – P. 100762.

11. Impact of polypropylene microplastics and chemical pollutants on European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) gut microbiota and health / Daniel Montero, Simona Rimoldi, Silvia Torrecillas, Jorge Rapp, Federico Moroni, Alicia Herrera, May Gómez, Álvaro Fernández-Montero, Genciana Terova // *Science of The Total Environment*. – 2021. – Vol. 805. – P. 150402.

12. Microplastic: A potential threat to human and animal health by interfering with the intestinal barrier function and changing the intestinal microenvironment / Zhuizui Huang, You Weng, Qichen Shen, Yao Zhao, Yuanxiang Jin // *Science of The Total Environment*. – 2021. – Vol. 785. – P. 147365.

13. Pugin K.G., Yakontseva O.V., Salakhova V.K., Burgonutdinov A.M. The use of polymer materials in the composition of asphalt concrete // *Materials research proceedings. International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment, ICMTME 2021*. – 2022. – P. 150–155.

14. Пугин К.Г., Яконцева О.В., Салахова В.К. Использование полимерных материалов в качестве структурного элемента в составе асфальтобетона // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. – 2021. – № 4. – С. 29–36.

15. Пугин К.Г., Пугина В.К. Использование отходов в структуре органоминеральных композитов, применяемых для строительства автомобильных дорог // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. – 2021. – № 2. – С. 38–46.

References

1. Ali Chamas, Hyunjin Moon, Jiajia Zheng, Yang Qiu, Tarnuma Tabassum, Jun Hee Jang, Mahdi Abu-Omar, Susannah L. Scott, Sangwon Suh. Degradation Rates of Plastics in the Environment. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2020. Vol. 8. P. 3494–3511.

2. Christine Gaylarde, Jose Antonio Baptista-Neto, Estefan Monteiroda Fonseca. Plastic microfibre pollution: how important is clothes' laundering? *Heliyon*. 2021. Vol. 7. № 5. e07105. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07105>.

3. Nashami Alnajjar, Awadhesh N. Jha, Andrew Turner. Impacts of microplastic fibres on the marine mussel, *Mytilus galloprovincialis*. *Chemosphere*. 2021. Vol. 262. 128290. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128290>.

4. Philipp Wanner. Plastic in agricultural soils – A global risk for groundwater systems and drinking water supplies? – A review. *Chemosphere*. 2021. Vol. 264. № 1. 128453. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128453>.

5. G.G.N. Thushari, J.D.M. Senevirathna. Plastic pollution in the marine environment. *Heliyon*. 2020. Vol. 6, № 8. e04709. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04709>.

6. Hongwei Yu, Weixiao Qi, Xiaofeng Cao, Jingwen Hu, Yang Li, Jianfeng Peng, Chengzhi Hu, Jiuwei Qu. Microplastic residues in wetland ecosystems: Do they truly threaten the plant-microbe-soil system? *Environment International*. 2021. Vol. 156. 106708. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106708>.

7. Johnny Gasperi, Stephanie L. Wright, Rachid Dris, France Collard, Corinne Mandin, Mohamed Guerrouache, Valérie Langlois, Frank J. Kelly, Bruno Tassin. Microplastics in air: Are we breathing it in? *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 2018. Vol. 1. P. 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.10.002>.

8. Stacey O'Brien, Elvis D. Okoffo, Jake W. O'Brien, Francisca Ribeiro, Xianyu Wang, Stephanie L. Wright, Saer Samanipour, Cassandra Rauert, Tania Yessenia Alajo Toapanta, Rizsa Albarracin, Kevin V. Thomas. Airborne emissions of microplastic fibres from domestic laundry dryers. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 747. 141175. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141175>.

9. Luís Fernando Amato-Lourenço, Regiani Carvalho-Oliveira, Gabriel Ribeiro Júnior, Luciana dos Santos Galvão, Rômulo Augusto Ando, Thais Mauad. Presence of airborne microplastics in human lung tissue. 2021. Vol. 416. 126124. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126124>.

10. Joana C. Prata, Joana L. Castro, João P. da Costa, Armando C. Duarte, Mário Cerqueira, Teresa Rocha-Santos. An easy method for processing and identification of natural and synthetic microfibers and microplastics in indoor and outdoor air. *MethodsX*. 2020. Vol. 7. 100762. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.11.032>.

11. Daniel Montero, Simona Rimoldi, Silvia Torrecillas, Jorge Rapp, Federico Moroni, Alicia Herrera, May Gómez, Álvaro Fernández-Montero, Genciana Terova. Impact of polypropylene microplastics and chemical pollutants on European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) gut microbiota and health. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 805. 150402. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150402>.

12. Zhuizui Huang, You Weng, Qichen Shen, Yao Zhao, Yuanxiang Jin. Microplastic: A potential threat to human and animal health by interfering with the intestinal barrier function and changing the intestinal microenvironment. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 785. 147365. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147365>.

13. Pugin K.G., Yakontseva O.V., Salakhova V.K., Burgonutdinov A.M. The use of polymer materials in the composition of asphalt concrete // *Materials research proceedings. International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment, ICMTME 2021*. – 2022. – C. 150–155. <https://doi.org/10.21741/9781644901755-27>.

14. Pugin K.G., Yakontseva O.V., Salakhova V.K. The use of polymeric materials as a structural element in the composition of asphalt concrete // *Transport. Transport facilities. Ecology.* – 2021. – No. 4. – S. 29–36.

15. Pugin K.G., Pugina V.K. The use of waste in the structure of organo-mineral composites used for the construction of highways // *Transport. Transport facilities. Ecology.* – 2021. – No. 2. – P. 38–46.

Об авторах

Салахова Вероника Константиновна (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: veronika815@inbox.ru).

Пугин Константин Георгиевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры строительных технологий Пермского государственного аграрно-технологического университета имени академика Д.Н. Прянишникова (Россия, 614990, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23, e-mail: 123zzz@rambler.ru); профессор кафедры специальностей водного транспорта и управления на транспорте Пермского филиала Волжского государственного университета водного транспорта

Рудакова Лариса Васильевна (Пермь, Россия) – доктор технических наук, заведующая кафедрой «Охрана окружающей среды» Пермского национального исследовательского политехнического университета (Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: larisa.rudakova.007@gmail.com).

About the authors

Veronika K. Pugina (Perm, Russian Federation) – Postgraduate student, Department of the Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky ave., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: veronika815@inbox.ru).

Konstantin G. Pugin (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Building Technologies, Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N. Pryanishnikov (23, Petropavlovskaya st., Perm, 614990, Russian Federation e-mail: 123zzz@rambler.ru); Professor of the Department of Specialties of Water Transport and Transport Management, Perm Branch of the Volga State University of Water Transport.

Larisa V. Rudakova (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Head of the Department of Environmental Protection, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky ave., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: larisa.rudakova.007@gmail.com).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 27.07.2022

Одобрена: 18.08.2022

Принята к публикации: 01.09.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Салахова, В.К. Формирование техногенного воздействия микропластика на окружающую среду / В.К. Салахова, К.Г. Пугин, Л.В. Рудакова // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология.* – 2022. – № 3. – С. 44–50. DOI: 10.15593/24111678/2022.03.05

Please cite this article in English as: Salakhova V.K., Pugin K.G., Rudakova L.V. Formation of man-made impact of microplastic on the environment. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2022, no. 3, pp. 44-50. DOI: 10.15593/24111678/2022.03.05