

ускорить развитие города в целом, изменить качество городской среды. К сожалению, резкие изменения территории могут вызвать ряд серьезных проблем, которые необходимо решать без замедлений. В процессе подготовки и проведения Олимпийских игр регион может получить долговременные преимущества, которые связаны с развитием инфраструктуры, а также возможными маркетинговыми эффектами. Однако положительные результаты достижимы только при условии грамотного планирования использования в постолимпийский период созданной для Олимпийских игр инфраструктуры, проведения тщательного экологического мониторинга и применения природосберегающих технологий.

Опыт трансформации городского пространства Сочи свидетельствует о необходимости комплексного географического и экологического подхода к разработке соответствующих мер для достижения устойчивого развития региона.

Список литературы:

- [1] Генеральный план города Сочи, 2009 // [Электронный ресурс], <http://www.sochiadm.ru/sochi/generalnyy-plan> (дата обращения 15.04.2017)
- [2] Гниненко Ю. И., Ю. А. Сергеева, Н. В. Ширяева, М. Е. Лянгузов Самшитовая огневка – опасный инвазивный вредитель самшита // Лесохоз. информ. : электрон. сетевой журн. – 2016. – № 3. – С. 25–35. URL: <http://lhi.vniilm.ru/>
- [3] Ивонин В.М., Пиньковский М.Д., Егошин А.В. Фрагментация горных лесов при размещении объектов Олимпиады – 2014 // Лесное хозяйство. 2012. № 1. С 31-34
- [4] Постолимпийский Сочи: экологические проблемы и перспективы сохранения природного и историко-культурного наследия // Материалы научно-практической конф. (Сочи, 5-7 июля 2014 г.). Сочи, 2014. 196 с.
- [5] Рудомаха. А. 2011. «Газпром» в рамках подготовки к Олимпиаде разрушает заповедные реки. // Электронный ресурс. <http://www.stepandstep.ru/news.php?id=127956> (дата обращения: 02.05.2017)
- [6] Туниев Б.С., Тимухин И.Н., Егошин А.В., Тильба П.А. и др Самшит колхидский: ретроспектива и современное состояние популяций. Москва: Изд-во Буки Веди, 2016.- 205с.

УДК 504.06

МИКРОПЛАСТИК В МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМАХ

MICROPLASTIC IN MARINE ECOSYSTEMS

Никерина Надежда Васильевна

Nikerina Nadezhda Vasilevna

г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет

Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State University

nadezhda.nikerina@mail.ru

Научный руководитель: к.г.н. Литвиненко Иван Владимирович

Research advisor: PhD Litvinenko Ivan Vladimirovich

Аннотация: В статье рассмотрены главные возможные источники поступления в морскую среду микропластика и его воздействие на основные ее компоненты. Сохранение как отдельных уникальных морских экосистем, так и поддержание экологического равновесия Мирового океана в целом, является одной из приоритетных задач, стоящих перед современным обществом.

Abstract: The main possible sources and impacts of microplastics on the main components of the marine environment are considered in the article. Preservation of unique marine ecosystems as well as maintenance of the ecological balance of the World Ocean entirely is one of the priority tasks facing modern society.

Ключевые слова: микропластик, морские экосистемы, морской мусор
Key words: microplastics, marine environment, marine litter

Пластик в настоящее время является одним из наиболее востребованных материалов в самом широком спектре отраслей промышленности и производства в силу его уникальных физико-химических свойств, отвечающих за его легкость, прочность, биоинертность, долговечность, которые в сочетании с относительно низкой себестоимостью делают его практически незаменимым. По некоторым оценкам, общемировой выпуск пластика может достигать 300 млн. тонн в год, а объемы производства в Европе составляют около 57 млн. тонн в год, и, что при этом крайне важно, объемы утилизации даже в относительно благополучной в этом отношении Европе в 2012 г. составили всего лишь 62 % (из них на вторичную переработку пришлось 26 %, на регенерацию энергии 36 %), и на свалки ушло 38 % пластика. Несмотря на то, что на континентах располагаются основные мощности по производству пластика, им представлены более 60 % морского мусора [1, 2, 3].

В регионах и странах, в которых проблематика переработки пластика только относительно недавно начала углубленно изучаться, основная его часть захоранивается в почве, а зачастую и на ее поверхности. В связи с низкой плотностью пластиков (различной у разных соединений, но соизмеримой с плотностью воды), синтетический мусор легко выносится с водосборной территории в водотоки и водоемы, а затем поступает в моря [4]. Существенную роль в поступлении пластика в морскую среду играет непосредственный сброс хозяйственно-бытовых сточных вод в морскую береговую зону, загрязнение береговой полосы пластиковым мусором (мусор, оставленный отдыхающими на берегу; сброс с судов; остатки рыболовного снаряжения и т.д.). Крупные пластиковые остатки подвергаются деструкции в водной среде под воздействием комплекса факторов: солнечная радиация, механическое и биологическое воздействия. Этот процесс разрушения пластика в морских акваториях занимает время от нескольких месяцев до первых лет и порождает огромное количество макро-, микро- и наночастиц, которые и несут наибольшую экологическую опасность для компонентов окружающей среды.

В настоящее время еще окончательно не сформировано определение, какого размера частицы относить к микропластику, но большинство ученых сходятся в том, что это частицы размером до 5 мм по наибольшему измерению [5, 6, 7]. Даже станции по очистке сточных вод не могут служить надежным барьером от поступления микропластика из бытовых отходов в водные объекты. В настоящее время в водах Мирового океана микропластик распространен повсеместно, причем максимальные его содержания приходится на побережья Португалии и США (31 волокно на 250 мл осадка), он был также обнаружен в антарктических льдах [8, 9, 10].

Впервые запрет на производство микропластика был введен в США в 2017 году, вслед за ними микропластик запретили в Нидерландах, Швеции и Канаде, в настоящий момент обсуждение подобной законодательной инициативы проходит в Великобритании. В Российской Федерации проблема микропластика только начинает изучаться.

Главными факторами, которые определяют интенсивность поступления микропластика в морскую среду, являются: тип антропогенной нагрузки на местность (по возрастанию интенсивности: неиспользуемая, сельская, индустриальная, городская, рекреационная); плотность населения на береговой полосе; сброс пластикового мусора; наличие особых источников (очистные сооружения и пр.); сезон года (в летний период поступление максимальное); тип побережья (песок, глина, галька); волновая ситуация.

Микропластик подразделяется на «первичный» и «вторичный». К первичному микропластику относятся микрогранулы (а также наногранулы, микросферы, наносферы, микрокапсулы, нанокапсулы, микрошарики...), применяемые при производстве средств гигиены и косметических средств (кремы для рук, зубные пасты, косметические скрабы и т.д.); одежды; химическая промышленность (буровые растворы, синтетические абразивы...) и многих других компонентов практически всех сфер человеческой деятельности. Они попадают в Мировой океан со сточными водами. Все же, основной поток микрочастиц представляет собой вторичный микропластик, который возникает в результате последовательного фотохимического разложения и биodeградации более крупных фрагментов пластикового мусора и его механического разрушения. Наиболее активно эти процессы проходят в береговой зоне, где доминирующим процессом является температурное воздействие. Поверхность песчаного пляжа и находящийся на нем пластиковый мусор могут нагреваться до температуры +40 °С, при этом скорость деградации увеличивается в разы. Содержание мусора увеличивается после штормов, а подверженные особенно сильному механическому воздействию во время штормов пластмассы распадаются на фрагменты, которые могут подвергаться деструкции (как правило, микробиальной). В результате этого полимеры на основе углерода входят в состав морской биомассы, превращаясь при этом в CO₂ [5, 11].

Таким образом, преобразование синтетических полимеров в водной среде представляет собой совокупность процессов термоокисления, фотodeградации, механического разрушения, гидролиза и биodeградации. Все эти процессы сопровождаются существенным воздействием на биотические компоненты аквальных экосистем. Остаточные мономеры, присутствующие в составе пластика, или токсичные добавки, применяемые при его производстве, могут выщелачиваться в результате поглощения пластика морскими животными. Так, например, установлена токсичность фталатовых пластификаторов, применяемых при производстве поливинилхлоридов (ПВХ/PVC) [12]. Кроме того, некоторые промежуточные продукты частичной деградации пластмасс могут быть токсичны. Например, при термической обработке полистирола могут образоваться стирол и другие ароматические соединения.

Собственная токсичность микропластика может дополняться сорбированными за счет большой площади удельной поверхности токсикантами. Стойкие органические загрязнители (СО₃), которые присутствуют практически повсеместно в водной среде в очень низких концентрациях, присоединяются к поверхности микропластика путем обменных реакций. Гидрофобность СО₃ усиливает их концентрацию в микропластике, достигая величин на несколько порядков выше среднего регионального фонового значения [11, 12]. Высокий риск негативного воздействия обусловлен биодоступностью сконцентрированных в полимерах СО₃, которые, например, могут попадать в пищевые цепи путем поглощения пластиковых частиц (схожих по размеру с фитопланктоном) непосредственно зоопланктоном.

Исследования, проведенные на юго-западном побережье Великобритании, подтверждают, что пластик может сорбировать и металлы. Из 14 рассмотренных металлов (Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Ag, Cd, Co, Cr, Mo, Sb, Sn и U) в наибольшей степени сорбировались Al, Cd и Pb. Эти результаты оказались неожиданными, поскольку пластики являются гидрофобными. Однако выяснилось, что на окисленной поверхности могут образовываться функциональные группы, способные связывать металлы [13].

Влияние микропластика на живые организмы на молекулярном уровне было исследовано учеными из Германии на примере *Daphnia magna*. Для этого в пищевой субстрат рачков был добавлен микропластик в количестве 1 % от массы пищи. Через 48 часов после воздействия были зафиксированы изменения экспрессии генов, связанных со стрессовыми ответами (такими, как HSP60, HSP70 и GST). Изучение потомства подвергшихся воздействию особей показало уменьшение длины тела, ширины и длины хвостового позвончика [14].

Наибольший вред микропластик наносит, поступая с пищей и блокируя пищеварительный тракт, что приводит к недоеданию, голоду и возможной смерти, например, у птиц возникает эффект «ложной сытости», что приводит к потере веса и неспособности накопить достаточные жировые запасы для миграции и размножения. Другой пример – снижение активности и биопродуктивности у пескожилов *Arenicola marina* после воздействия в течение месяца различными концентрациями (0,02 %; 0,2 %; 2 % от веса сухого остатка) полиэтилена (ПЭ/РЕ), ПВХ и полимолочной кислоты в донных отложениях. Наиболее сильный ответ наблюдался при воздействии ПВХ [15].

В докладе ООН «Пластиковый мусор в Мировом океане» («Plastic debris in the World's Ocean») отмечается, что согласно проведенным исследованиям от 50 до 80 % найденных мертвыми черепах погибли от съеденного мусора. Зафиксировано, что 111 из 312 видов морских птиц заглатывали мусорные фракции. По меньшей мере, 267 видов морских животных, в том числе тюлени, котики, киты, рыбы, членистоногие, пострадали от морского мусора.

Существуют данные, что микропластик может служить транспортным механизмом для инвазивных видов [16]. В исследовании [17] было зафиксировано постепенное изменение структуры сообщества, вызванное накоплением в придонном слое микропластика, который способствовал смене мягких алевро-пелитовых грунтов на твердые, состоящие из более крупных частиц. Это стало причиной изменений в составе мегафауны и установления новых взаимоотношений хищник-жертва, при этом коренные виды были вытеснены вторгающимися и локально уничтожены.

Поедание особей с большим содержанием микропластика обуславливает продвижение частичек вверх по пищевой цепочке, приводя к накоплению токсических веществ в телах рыб и морских птиц [18]. Ученые из Института окружающей среды в Хельсинки провели эксперимент, в котором поместили частицы полистирола диаметром 10 мкм флуоресцентной меткой и проследили их путь по пищевой цепочке от инфузорий и зоопланктона до мелких ракообразных и личинок полихет. Далее по пищевой цепочке пластик попадает в рыбу, а затем и в человеческий организм.

У людей вдыхаемые микропластические волокна поглощаются тканями легких и могут в дальнейшем стать причиной опухолей [19], в то время как дисперсионные красители из полиэфирных и акриловых волокон способны вызвать дерматит [20].

Фрагменты микропластика в настоящее время выявляют, в основном, применяя метод спектрографии инфракрасного преобразования Фурье (FTIR), выявляя из спектра масс известные виды полимеров. С помощью этого метода идентифицируются такие полимеры, как полипропилен, полиэтилен, полиэстер и многие другие.

Таким образом, микропластик и пластиковые отходы в целом, являются существенной угрозой морским экосистемам. Одним из первых шагов на пути минимизации вредного воздействия на компоненты природной среды является разработка более совершенных фильтрационных систем. Помимо этого, необходимо совершенствование старых и разработка новых лабораторных методов анализа количества микропластика в воде и донных отложениях (т.к. существующие методы не позволяют «засечь» частицы микропластика размером менее 0,3 мм, а анализ более крупных частиц дает большую погрешность). Особенно важно проведение регулярных мониторинговых исследований по выявлению потоков поступления микропластика, изучению его влияния на ключевые виды живых организмов и возможного перехода по трофическим уровням для оценки деградации экосистем в наиболее уязвимых к антропогенному воздействию северных шельфовых районах. Самым же эффективным и приоритетным направлением решения проблемы микропластика в водной среде на долгосрочную перспективу является внедрение управленческих схем снижения количества производимого пластика и, особенно микропластика или разработка новых видов его, более подверженных деградации.

Список литературы:

- [1] Bergmann M. Anthropogenic Litter / M. Bergmann, L. Gutow, M. Klages // Springer. – 2015. – 447p.
- [2] Plastics Europe / Plastics – the Facts 2014/2015. – 2015. <http://www.plasticseurope.fr/Document/plastics—the-facts-2013.aspx?Page=DOCUMENT&FolID=2>; http://issuu.com/plasticseuropeebooks/docs/final_plastics_the_facts_2014_19122
- [3] Upendra Bhatt. Recycling & Managing the Plastic Waste // Conference on Recycling & Managing the Plastic Waste. ASSOCHAM. New Delhi. – 2015. – 11 pp.
- [4] Rilling M. C. Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? // Environ. Sci. Technol. 2012. V. 46. P. 6453-6454
- [5] Cole M., Lindeque P., Halsband C., Galloway T. S. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review // Mar. Pollut. Bull. – 2011. – V.62. – P.2588–2597
- [6] 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. – V.46. – P.3060–3075
- [7] Wright S. L., Thompson R. C., Galloway T. S. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review // Environ. Pollut. – 2013. – V.178. – P.483–492
- [8] Talvitie J. Do wastewater treatment plants act as a potential point source of microplastics? Preliminary study in the coastal Gulf of Finland, Baltic Sea / J. Talvitie, M. Heinonen // Water Science and Technology. – 2015. – Vol. 72, Issue 9. – P.1495-1504
- [9] Browne M.A. Accumulations of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. / M.A. Browne, P. Crump // Environmental Science & Technology. – 2011. – Vol. 45. – P.9175-9179
- [10] Obbard R. W. Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice. / R.W. Obbard, S. Sadri // Earth's Future. – 2014. – Part 2. – P.315–320
- [11] Eubeler J.P., Zok S., Bernhard M., Knepper T.P. Environmental biodegradation of synthetic polymers I. Test methodologies and procedures. Trend. Anal. Chem. – 2009. – 28 (9). – P.1057–1072
- [12] Козловский Н.В. Микропластик – макропроблема Мирового океана / Н.В. Козловский, Блиновская Я.Ю. // Экология и здоровье населения. – 2015. – №10. – с.159-262
- [13] Ashton K. Association of metals with plastic production pellets in the marine environment / K. Ashton, L. Holmes, A. Turner // Marine Pollution Bulletin. – 2010. – Vol. 60. Issue 11. – P. 2050–2055
- [14] Hannes I.K. Do microplastic particles affect *Daphnia magna* at the morphological, life history and molecular level? / I.K. Hannes, J. Rusek, M. Thiel, J. Wolinska, C. Laforsch // PLoS One. – 2017. – Vol. 12. – Issue 11. – Article No.: e0187590
- [15] Green D.S. Effects of conventional and biodegradable microplastics on a marine ecosystem engineer (*Arenicola marina*) and sediment nutrient cycling / D.S. Green, B. Boots, J. Sigwart, S. Jiang, C. Rocha // Environmental Pollution. – 2016. – Vol. 208. – Part B. – P.426-434
- [16] Katsanevakis S. Information-theory approach to allometric growth of marine organisms / S. Katsanevakis, M. Thessalou-Legaki, C. Karlou-Riga, E. Lefkadiou, E. Dimitriou, G. Verriopoulos // Mar. Biol. – 2007. – Part A. – Vol.151. – P.949-959.
- [17] Pauly J. L. Inhaled cellulosic and plastic fibers found in human lung tissue / J.L. Pauly, S.J. Stegmeier, H.A. Allaart, R.T. Cheney, P.J. Zhang, A.G. Mayer, R.J. Streck // Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev. – 1998. – Vol.7. – P.419-428
- [18] Ryan P.G. Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment / P.G. Ryan, C.J. Moore, J.A. van Franeker, C.L. Moloney // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. – 2012. – 364(1526):1999-2012
- [19] Briand F. ed. CIESM. Marine litter in the Mediterranean and Black Seas. CIESM Workshop Monograph. – N46. CIESM Publisher, Monaco. – 2014. – 180 p.
- [20] Pratt M., Taraska V. Disperse blue dyes 106 and 124 are common causes of textile dermatitis and should serve as screening allergens for this condition. Am. J. Contact. Dermat. – 2000. – V.11. – P.30-41