



УДК 551.46

ФРАГМЕНТАЦИЯ ПЛАСТИКОВОГО МУСОРА В ПРИБОЙНОЙ ЗОНЕ МОРЯ: ЛАБОРАТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ НА ПРИМЕРЕ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА

И. В. Ефимова, И. П. Чубаренко

Ефимова Ирина Валерьевна, аспирант, Балтийский федеральный университет имени И. Канта (Калининград), ira.poterukhina@gmail.com

Чубаренко Ирина Петровна, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией физики моря, Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН (Москва), irina_chubarenko@mail.ru

Загрязнение прибрежной зоны моря пластиковым мусором является важной экологической проблемой. Особенно опасными оказываются маленькие частицы (микропластик), поскольку птицы и рыбы принимают их за еду. В статье рассматривается процесс разрушения в прибойной зоне моря вспененного полистирола (пенопласта) – одного из наиболее часто встречающихся загрязнителей. Эксперименты во вращающемся лабораторном миксере позволили проанализировать как изменение качественных характеристик образцов в процессе разрушения, так и рост количества частиц микропластика со временем. Оценки показали, что полное разрушение образцов пенополистирола до микрочастиц (< 5 мм) в прибойной зоне моря с грубым осадочным материалом происходит уже спустя 3–6 дней.

Ключевые слова: морской мусор, пенополистирол, разрушение, микропластик, прибойная зона моря.

Fragmentation of Plastic Garbage in the Surf Zone of the Sea: a Laboratory Experiment on the Example of Expanded Polystyrene

I. V. Efimova, I. P. Chubarenko

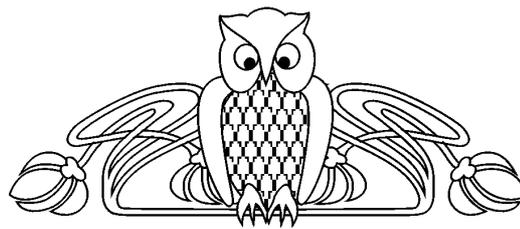
Irina V. Efimova, ORCID 0000-0001-7633-6430, Immanuel Kant Baltic Federal University, 14, A. Nevskogo Str., Kaliningrad, 236041, Russia, ira.poterukhina@gmail.com

Irina P. Chubarenko, ORCID 0000-0003-3876-3022, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, 36, Nakhimovski Pr., Moscow, 117997, Russia, irina_chubarenko@mail.ru

Pollution of the coastal zone of the sea by plastic debris is an important environmental problem. Especially dangerous are small particles (microplastic), as birds and fish mistake it for food. The article deals with the process of destruction of foamed polystyrene – one of the most frequently encountered pollutants – in the surf zone of the sea. Experiments in a rotating laboratory mixer made it possible to analyze both the change in the qualitative characteristics of the samples during the destruction process and the increase in the number of microplastic particles with time. Estimates showed that the complete destruction of foamed polystyrene up to micro-particles (<5 mm) in the surf zone of the sea with coarse sedimentary material occurs after 3–6 days.

Key words: marine debris, expanded polystyrene, destruction, microplastic, sea swash zone.

DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-1-10-13



Введение

Пенополистирол вспененный, или «пенопласт» (PS foam), широко распространен в морской окружающей среде [1]. Изучение пляжного мусора на 43 участках вдоль побережья округа Ориндж штата Южной Калифорнии показало, что пенопласт является одним из наиболее часто встречающихся видов пляжного мусора [1,2]. На пляжах юго-восточной части Балтийского моря загрязнение пенопластом занимает первое место [3,4]. Чаще всего на берегах находятся как отдельные шарики, так и куски пенопласта [3–6]. Процессы изменения свойств и разрушения пенопласта в морской среде до настоящего времени неизвестны. Некоторые исследователи считают, что пластик будет разрушаться до всё более мелких частиц, сохраняя свою «синтетическую» природу, т. е. никогда не исчезнет из окружающей среды [7].

Мониторинг побережий юго-восточной части Балтийского моря в различные сезоны года в период 2016–2017 гг. указывает на практически повсеместное и постоянное присутствие частиц пенопласта на пляжах. Для примера (рис. 1) приведем фотографии фрагментов пенопласта с различной степенью разрушения: в начале сентября 2016 г. море вынесло после шторма маленькие шарики пенопласта вместе с древесными обломками (см. рис. 1, а); в конце сентября 2016 г. был найден макрофрагмент пенопласта, засыпанный песком в прибойной зоне (см. рис. 1, б); после штормов в феврале (см. рис. 1, в) и августе (см. рис. 1, г) 2017 г. берег был усеян маленькими шариками пенопласта и янтарем [8]. Эти снимки свидетельствуют о значительном загрязнении пенопластом побережья Балтийского моря.

Исходным материалом для производства пенопласта является полистирол – вещество, полученное полимеризацией стирола. Пенопласт довольно хрупкий и твердый полимер с малой плотностью 0,011 г/см³. Технология его производства включает газовое наполнение отдельных гранул стирола. Соответственно при разрушении он легко распадается на мелкие составляющие, а именно на микропластик, принимаемый морскими животными за еду и приводящий к их гибели [9].

Термин «микропластик» (или «микромусор») определяется исследователями по-разному [10]. Одни из них считают, что микропластик – едва заметные частицы, которые проходят через сито

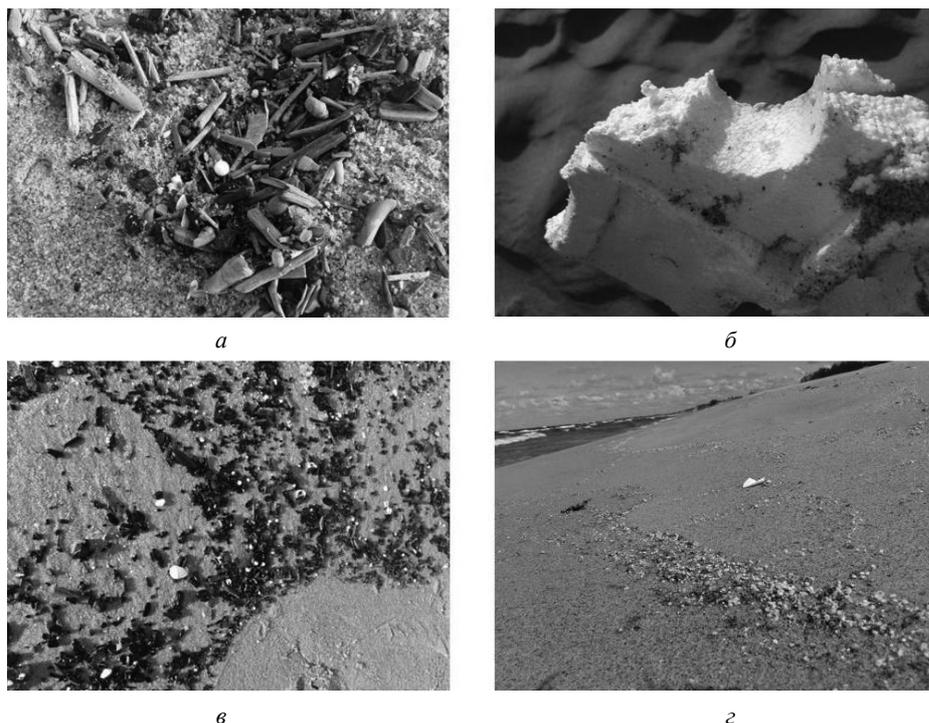


Рис. 1. Фрагменты пенопласта в прибойной зоне юго-восточной части Балтийского моря во время мониторинга 2016–2017 гг. (фото И. П. Чубаренко)

500 мкм, но сохраняются с помощью сита 67 мкм (~0,06–0,5 мм в диаметре), а частицы, превышающие этот размер, называют «макромусором» [11]. Другие определили микропластик как микро-частицы размером <5 мм (принимая 333 мкм в качестве нижний предел, когда используются для отбора проб нейстонные сетки) [12–14]. Частицы пластмасс, размер которых варьирует от нескольких до 500 мкм (5 мм), обычно присутствуют в морской воде [15, 16]. В данной статье именно этот диапазон размеров будет характеризоваться как «микропластик» [11]. Цель нашего исследования – изучить этапы деградации пенопласта от макроразмеров (>5 мм) до микро-размеров (от 0,1 до 5,0 мм) в прибрежной зоне. Для этого был проведен лабораторный эксперимент, имитирующий прибойную зону моря с крупными камнями на побережье Балтийского моря.

Материал и методика

Для изготовления образцов для проведения эксперимента были использованы большие строительные плиты пенопласта (толщина 2 см), которые в дальнейшем разрезали накаливаемой ниткой на квадраты со стороной 2 см × 2 см (общая масса образцов в одном эксперименте 50 г). Полученные кубики помещали в лабораторный смеситель (бетономешалка) с наклонной осью вращения (5°, частота вращения 30 оборотов в минуту) вместе с крупной галькой (40 кг, размер гальки 4–6,4 см), собранной на пляжах юго-восточной части Балтийского моря,

и водопроводной водой (20 л). Миксер включался на 24 ч (поэтапно). После каждого 3 ч вращения содержимое вынималось, промывалось проточной водой, образцы пенопласта просеивались через 10 сит фракциями 0,5–5 мм, сушились, взвешивались получившиеся фракции, анализировались полученные данные, затем все ингредиенты помещались в смеситель вместе с водой (20 л) и камнями (40 кг) на следующие 3 ч (рис. 2).

Результаты и их обсуждение

После первых 3 часов перемешивания в миксере с крупной галькой у макрокубиков пенопласта проявились некоторые изменения в форме: края стали более сглаженными, появились гранулы пенопласта, некоторые ребра боковых частей оказались обломаны. Пенопласт не тонет в воде, поэтому во время эксперимента в смесителе он по большей части находился на поверхности воды. Но несмотря на это, мелкие части пенопласта находились и под водой, прилипнув к камням.

Макроматериал медленно распадался, и кубики с каждым разом становились более гладкими и полированными по углам, а некоторые разрывались на куски. Обломки пенопласта приобретали различные формы, демонстрируя компоненты материала в виде разного диаметра гранул. Элементами микропластика размером от 1,5 мм и ниже являлись сплюснутые или разорванные сферы (рис. 3).

После 15 ч перемешивания в смесителе около 83% пенопласта все еще оставались макропластиком, причём многие образцы сохранили куби-

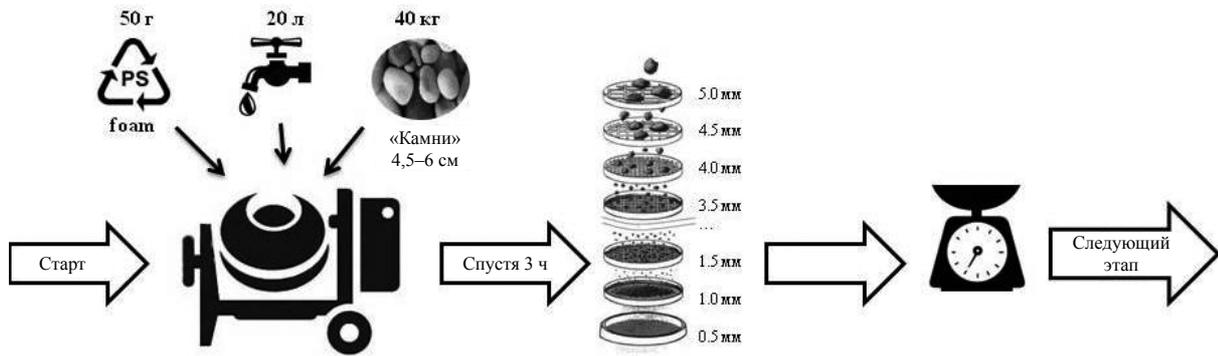


Рис. 2. Схема проведения лабораторного эксперимента по разрушению пенопласта в лабораторном миксере

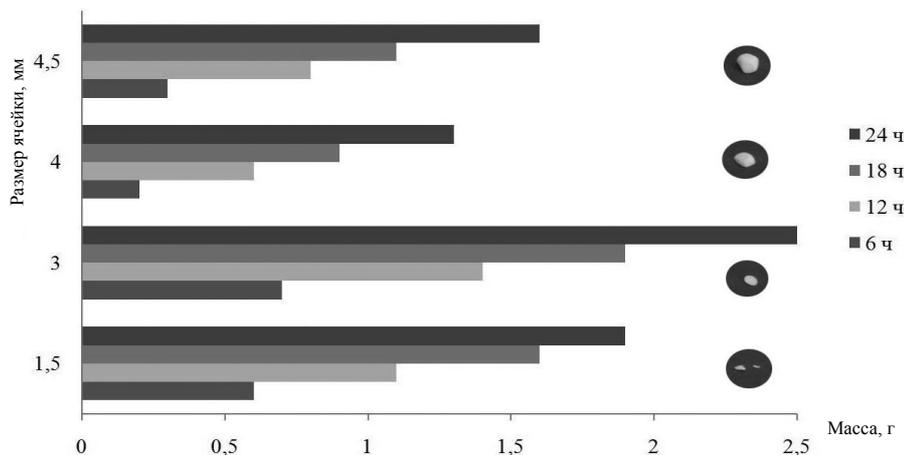


Рис. 3. Распад пенопласта на микропластик по фракциям спустя 24 ч в миксере при наличии камней и воды

ческую форму. В конце эксперимента после 24 ч перемешивания около 73% составляли макро-, около 9% микро-, а оставшиеся 18% наноматериал (<0.5 мм) (рис. 4).

Процесс сушки пенопласта через каждые 3 ч перемешивания показал, насколько материал

водонепроницаем, поэтому возникали проблемы с его электростатикой и взвешиванием. С каждой стадией разрушения микроматериала становилось больше, а макро-материал разбивался на фрагменты, по-видимому, склеивающий индивидуальные шарики материал ослабевал. Процесс промывки

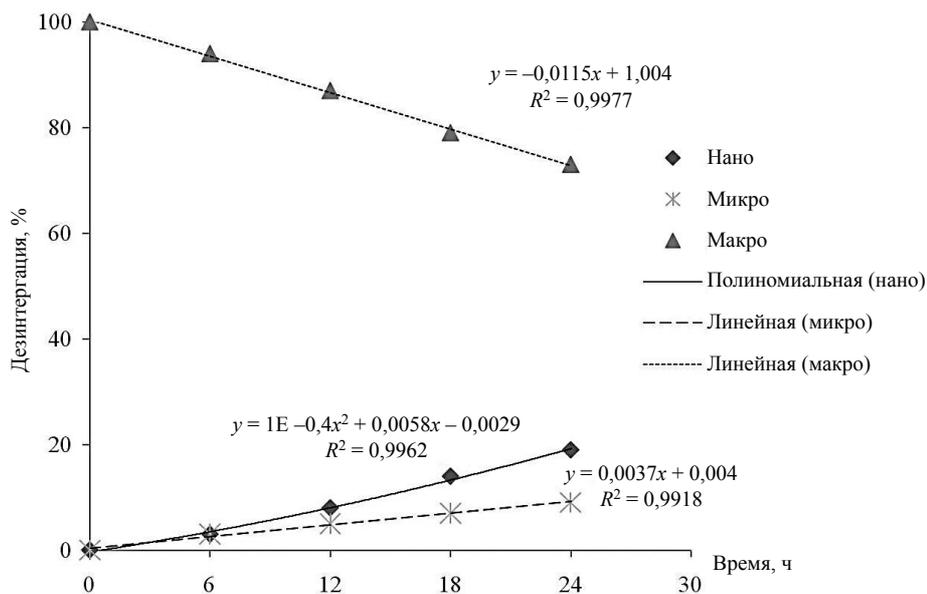


Рис. 4. Дезинтерграция пенопласта со временем: относительная масса макро- (> 5 мм), микро- (< 5 мм) и нанопластика (< 0.5 мм) после каждых 6 часов эксперимента



материала в ситах занимал более 2 часов, его сушили около 2–3 дней при комнатной температуре в подвешенном состоянии в мешках из сетки в 333 мкм.

Выводы

Проведенные эксперименты позволили качественно и количественно охарактеризовать процесс разрушения макроэлементов пенопласта до микропластика в условиях лабораторного эксперимента, имитирующего его перемешивание в прибойной зоне моря с грубым осадочным материалом.

Как показывают результаты (см. рис. 4), уменьшение массы макроматериала происходит линейно. Основываясь на уравнении, приведенном на рис. 4, можно оценить количество оборотов («циклов волн»), необходимых для полного разрушения макроматериала. Полагая, что каждый оборот миксера соответствует одной волне прибоя, время разрушения макрообразцов до микропластика в характерных для Балтийского побережья условиях можно оценить в 3–6 дней. По-видимому, в случае более быстрого распада микропластика на отдельные сферы из-за ослабления склеивающего их вещества нарастание массы микроматериала ускорится, так как начнется распад уже собственно отдельных сфер. Данные по количеству наноматериала на рис. 4 являются результатом вычисления, поскольку частицы такого маленького размера сложно отследить в условиях лабораторного эксперимента.

Работа выполнена по теме государственного задания № 0149-2018-0012 «Морские природные системы Балтийского моря и Атлантического океана: формирование природных комплексов Балтийского моря и их изменение под влиянием Атлантического океана и антропогенного воздействия».

Библиографический список

1. Gordon M. Eliminating Land-based Discharges of Marine Debris in California : A Plan of Action from The Plastic Debris Project // California Coastal Commission. 2006. Vol. 2. P. 15.
2. Moore S. L., Gregorio D., Carreon M., Weisberg S. B.,

Leecaster M. K. Composition and Distribution of Beach Debris in Orange County, California // Mar. Pollut. Bull. 2001. Vol. 42(3). P. 241–245.

3. Esiukova E. Plastic pollution on the Baltic beaches of Kaliningrad region, Russia // Mar. Pollut. Bull. 2017. Iss. 2, vol. 114. P. 1072–1080.

4. Chubarenko I., Bagaev A., Zobkov M., Esiukova E. On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment// Mar. Pollut. Bull. 2016. Vol. 108. P. 105–112. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpollbul.2016.04.048> (дата обращения: 15.11.2017).

5. Duis K., Coors A. Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects // Environ. Sciences Europe. 2016. Vol. 28. P. 2. URL: <https://doi.org/10.1186/s12302-015-0069-y> (дата обращения: 15.11.2017).

6. Claessens M., Meester S. D., Landuyt L. V., Clerck K. D., Janssen C. R. Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast // Mar. Pollut. Bull. 2011. Vol. 62. P. 2199–2204.

7. Kanehiro H., Tokai T., Matuda K. Marine litter composition and distribution on the seabed of Tokyo Bay // Fisheries Engineering. 1995. Vol. 31. P. 195–199.

8. Chubarenko I., Stepanova N. Microplastics in sea coastal zone: lessons learned from the Baltic amber // Environ. Pollut. 2017. URL: [10.1016/j.envpol.2017.01.085](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.085) (дата обращения: 15.11.2017).

9. Derraik J. G. B. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review// Mar. Pollut. Bull. 2002. Vol. 44. P. 843.

10. Andrady A. L. Microplastics in the marine environment // Mar. Pollut. Bull. 2011. Vol. 62. P. 1596–1605.

11. Gregory M. R., Andrady A. L. Plastics in the marine environment. John Wiley & Sons, Inc., 2003. 783 p.

12. Fendall L. S., Sewell M. A. Contributing to marine pollution by washing your face. Microplastics in facial cleansers // Mar. Pollut. Bull. 2009. Vol. 58 (8). P. 1225–1228.

13. Betts K. Why small plastic particles may pose a big problem in the oceans // Environ. Sci. Technol. 2008. Vol. 42. P. 8995.

14. Moore C. J. Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat // Environ. Res. 2008. Vol. 108 (2). P. 131–139.

15. Ng K. L., Obbard J. P. Prevalence of microplastics in Singapore's coastal marine environment // Mar. Pollut. Bull. 2006. Vol. 52 (7). P. 761–767.

16. Barnes D. K.A., Galgani F., Thompson R. C., Barlaz M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments Philos// Trans. R. Soc. B. 2009. Vol. 364. P. 1985–1998.

Образец для цитирования:

Ефимова И. В., Чубаренко И. П. Фрагментация пластикового мусора в прибойной зоне моря: лабораторный эксперимент на примере пенополистирола // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 18, вып. 1. С. 10–13. DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-1-10-13.

Cite this article as:

Efimova I. V., Chubarenko I. P. Fragmentation of Plastic Garbage in the Surf Zone of the Sea: a Laboratory Experiment on the Example of Expanded Polystyrene. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Earth Sciences*, 2018, vol. 18, iss. 1, pp. 10–13 (in Russian). DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-1-10-13.