

УДК 504.054

DOI 10.30694/1026-5600-2018-3-15-28

Е. Е. Есюкова<sup>1\*</sup>, Б. В. Чубаренко<sup>1</sup>, Е. М. Бурнашов<sup>2</sup>

## Геосинтетические материалы как источник загрязнения пластиковым мусором морской среды

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук,

Нахимовский проспект 36, Москва, Россия, 117997

<sup>2</sup>Государственное бюджетное учреждение Калининградской области «Балтберегозащита»,

Светлогорск, ул. Хуторская 1, Россия, 238560

\*E-mail: elena\_esiukova@mail.ru

Геосинтетические материалы широко используются в гидротехнических и берегозащитных сооружениях на берегу Балтийского моря, таких как габионы, подпорные стенки, променады, опоры, склоноукрепительные конструкции и т. д. Неизбежное разрушение конструкций приводит к попаданию остатков геосинтетики (геотекстиля) в окружающую среду, фрагменты мигрируют вдоль берега, испытывая дополнительную деградацию и разрушение вплоть до макро-, мезо-, микрочастиц. В течение октября 2017 — июня 2018 года на побережье Балтийского моря (Самбийский п-ов, Калининградская область, Россия) было проведено обследование загрязнения песчаных пляжей деградировавшими остатками геосинтетических материалов: 43 экспедиционных выезда в десять различных районов побережья — от пос. Янтарный до корня Куршской косы. На участках протяженностью от 500 м до 3 км в течение одной экспедиции по всей ширине пляжа проводились наблюдения с отбором образцов. Подробно описаны методы сбора, размерный диапазон найденных на пляже фрагментов геосинтетики. Установлено несколько локальных источников загрязнения пляжей геосинтетическими материалами, указаны годы постройки, размеры и характеристики инженерных сооружений (например, габионы, подпорная стенка с восстановлением берегового откоса, защитные береговые сооружения и т. д.). Указаны типы (например, нетканый геотекстиль типа дорнит, геоячейки, геоматы, геоконтейнеры, полимерные покрытия металлических проволочных сеток для габионов и т. п.) и состав материалов геосинтетики (например, PP, HDPE, PE или PVC), содержащихся в гидротехнических и берегозащитных сооружениях, а также состояние конструкций и степень деградации геосинтетических материалов. Также выявлено, что наибольший видимый эффект в загрязнение пляжей вносят остатки от тканых текстилей (контейнеров / мешков), активно распадающиеся на волокна, которые мигрируют вдоль берега, оседая на пляже и на дне. Анализ показал, что в осенне-зимний период с сильными штормами крупные фрагменты геотекстиля способны мигрировать в течение нескольких месяцев вдоль северного побережья Самбийского п-ова на расстоянии более десяти километров. Собраны образцы геосинтетики для дальнейшего анализа.

**Ключевые слова:** геотекстиль; геосинтетика; Балтийское море; берегозащитные сооружения; габионы; деградация; пластиковый мусор.

### Geosynthetic materials as a source of pollution of the marine environment by plastic debris

E. E. Esiukova<sup>1\*</sup>, B. V. Chubarenko<sup>1</sup>, E. M. Burnashov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences

36, Nahimovskiy pr., Moscow, 117997, Russia

<sup>2</sup>State Governmental Institution of Kaliningrad Oblast “Baltcoastprotection”

1, ul. Khutorskaya, Svetlogorsk, 238560, Russia

\*E-mail: elena\_esiukova@mail.ru

Geosynthetic materials are widely used in hydrotechnical and coastal protective structures at the shore of the Baltic Sea: in gabions, retaining walls, promenades, supports, slope-fortification structures, etc. Storm-induced damage of protective structures leads to release of geosynthetic (geotextile) remnants into the environment. These fragments migrate along the shore, experiencing additional degradation and breaking down into macro-, meso-, and microparticles. A series of 43 field surveys were organized at the shores of the Baltic Sea (the Sambia Peninsula, Kaliningrad Oblast, Russia) during October 2017 — June 2018 to evaluate the pollution of sandy beaches by debris of geosynthetic (geotextile) materials. The surveys were conducted in ten different areas of the shore — from the Yantarny Village to the root of the Curonian Spit;

coastal segments from 500 m to 3 km in length were covered by observation of the entire width of the beach with sampling included. The sampling methods and the size range of the geosynthetic fragments found on the beach are described in detail. Several local sources of geosynthetic pollution of the beaches were identified, with the age of a structure, its type (e. g., gabions, a retaining wall with restoration of the coastal slope, protective coastal structures, etc.), dimensions, and technical characteristics. Information about geosynthetics contains its type (e. g., non-woven geotextiles such as dornit, geocells, geomats, geocontainers, polymer coatings of the metal wire nets for gabions, etc.), composition (e.g., PP, HDPE, PE, or PVC), and degree of degradation. It was also revealed that the greatest visible effect on the pollution of the beaches comes from remnants of woven textiles (containers/bags). These fragments are actively broken down into fibers that migrate along the coast and settle down at the beach and sea bottom. The analysis showed that large fragments of geotextiles are able to migrate for several months along the northern shore of the Sambian Peninsula for >10 km distances. Samples of geosynthetics were collected for further analysis.

**Keywords:** geotextiles; geosynthetics; Baltic Sea; coastal protective structures; gabions; degradation; plastic debris.

## Введение

Существует несколько основных категорий геосинтетических материалов: геотекстиль, георешетки, геосетки, геомембраны, глиноматы (бентонитовые маты), геопены, геоячейки, дренажные / инфильтрационные ячейки, геокомпозиты [1]. Они широко используются при проведении ландшафтных работ, в области берегозащиты и проектирования различных гидротехнических сооружений, укреплении русел водотоков, строительстве дорог и площадок, укреплении защитных сооружений трубопроводов, стабилизации грунтов, армирования склонов и насыпей, дренажа, гидроизоляции, для возведения подпорных стенок при укреплении берегов и т. д. [2]. Геотекстиль — это любые текстильные материалы, используемые в окружающей среде для технических целей, или любой проницаемый текстильный материал, используемый для фильтрации, дренажа, армирования, разделения, упрочнения и стабилизации в качестве неотъемлемой части строительных конструкций в грунтах, горных породах или т. д. [3, 4].

Геотекстиль изготавливается из полипропилена (PP), полиэфира/полиэстера (PET), полиэтилена (PE), полиэтилена высокой плотности (HDPE), полиамида (нейлона) (PA), поливинилхлорида (PVC) и стекловолокна, а PP и PET являются наиболее широко используемыми материалами [5]. Поверхностная плотность геотекстильных тканей варьируется от 40 г/м<sup>2</sup> до 3000 г/м<sup>2</sup>. Различают три основные формы [4] геотекстильных тканей: (i) тканые, (ii) нетканые, (iii) трикотажные. Тканые полотна имеют правильную структуру из двух переплетенных между собой волокон, в основном полипропиленовых или полиамидных, с добавлением полиэстера — прочное и пластичное полотно, способное выдерживать значительные нагрузки. Нетканые полотна состоят из беспорядочно смешанных полимерных нитей (из полиэфира, полипропилена, полиэтилена) и производятся различными способами. Существуют разновидности нетканых ге-

отекстилей: иглопробивные, термоскрепленные, клееные, гидроскрепленные и т. д. [2, 4].

Эрозия склонов в прибрежных районах является серьезной проблемой глобального масштаба. Геосинтетические материалы, и особенно геотекстиль, используются в различных инженерных сооружениях для защиты или минимизации ущерба от эрозии: при армировании склонов, в насыпях, берегозащитных сооружениях, габионах, морских волноломах, искусственных рифах и т. д. Наиболее эффективно геосинтетика используется для армирования при строительстве насыпей и подпорных стенок в мягких грунтах и песке [4]. В случае использования в морской среде и на берегах геотекстиль подвергается сильному истиранию арматурными конструкциями, морскими наносами при ветро-волновом воздействии, а, значит, должен быть способен противостоять неблагоприятным условиям [5].

Применение геосинтетических материалов в гидротехнических сооружениях приводит к повышению срока службы и экологической устойчивости по сравнению с альтернативными проектами [6]. Общеизвестно, что обработка геосинтетических материалов антиоксидантами значительно продлевает срок их службы, особенно при использовании в условиях низких температур и при ограниченном доступе кислорода. Но со временем геоматериалы теряют свои свойства (что тесно связано со старением геосинтетикой), деградируют и становятся источником загрязнения пластиком морской среды. Кроме того, в окружающую среду могут выделяться пластификаторы или антиоксиданты (добавки к геоматериалам) [7]. В геосинтетических материалах используются полимеры, плотность которых изменяется в пределах 0,05–1,70 г/см<sup>3</sup> [8, 9, 10], а плотность песка составляет около 2,65 г/см<sup>3</sup>.

Золотой перенос, миграция песка вдоль и поперек пляжа приводит к полному или частичному захоронению фрагментов геосинтетического материала. Такие небольшие фрагменты остаются в толще песка до следующих штормовых

событий. Оставшиеся на поверхности объекты подвергаются влиянию окружающей среды (например, механическое воздействие, УФ-излучение, термо- и биодegradация и т. д.), начинают медленно стареть и разрушаться [10, 11, 12, 13], становятся более блёклыми, хрупкими и ломкими, что приводит к дроблению, создавая огромное количество макро-, микро- и наночастиц.

Пластиковые частицы и волокна, оказывающиеся в море, дрейфуют на поверхности или в толще воды, оседают на морском дне и на берегу [8, 9, 10, 11, 12]. Опасная особенность микрочастиц пластика – это способность аккумулировать токсичные вещества на своей поверхности, которые затем могут поглощаться микроорганизмами, рыбой, морскими животными, птицами, и далее по пищевой цепочке попадать в организм человека [14, 15]. Микро- и наночастицы несут наибольшую опасность для окружающей среды [10, 16].

Основной целью визуальных обследований в октябре 2017 года — июне 2018 года было выявление локальных источников геосинтетического загрязнения на побережье Самбийского п-ова (Калининградская область Россия, Балтийское море) и первичная оценка загрязнения песчаных пляжей деградировавшими геосинтетическими материалами [17].

## Материалы и методы

### *Район исследований*

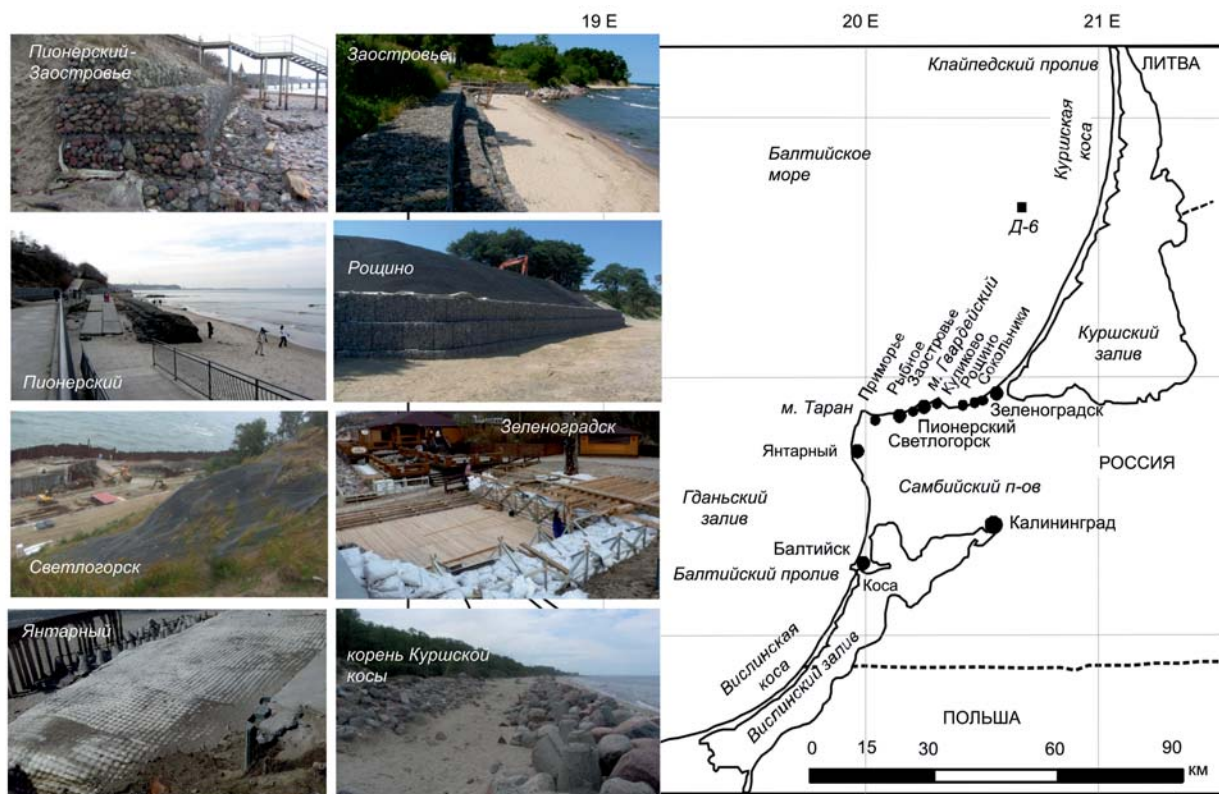
Побережье Балтийского моря в пределах Калининградской области протяженностью 147 км состоит из песчаных пляжей (Куршская и Вислинская коса, западное побережье Самбийского п-ова от Балтийска до Янтарного) и клифов (на западном побережье от Янтарного до мыса Таран и на северном побережье Самбийского п-ова) [18, 19]. Балтийский и Клайпедский проливы соединяют Вислинский и Куршский заливы с Балтийским морем (рис. 1). Район исследования включает в себя побережье Самбийского п-ова: от Янтарного до корня Куршской косы (восточнее Зеленоградска) (рис. 1). Это побережье находится под влиянием сильных штормов (особенно в осенне-зимний период) с преобладающими направлениями распространения волнения с севера и запада [19, 20]. Известно, что наиболее сильные деформации берегов связаны со штормами, причем для бесприливных берегов Балтики разрушительная сила штормов зависит от сочетания силы

и направления волнения, высоты нагона уровня моря в момент прохождения шторма, а также продолжительности шторма [20, 21].

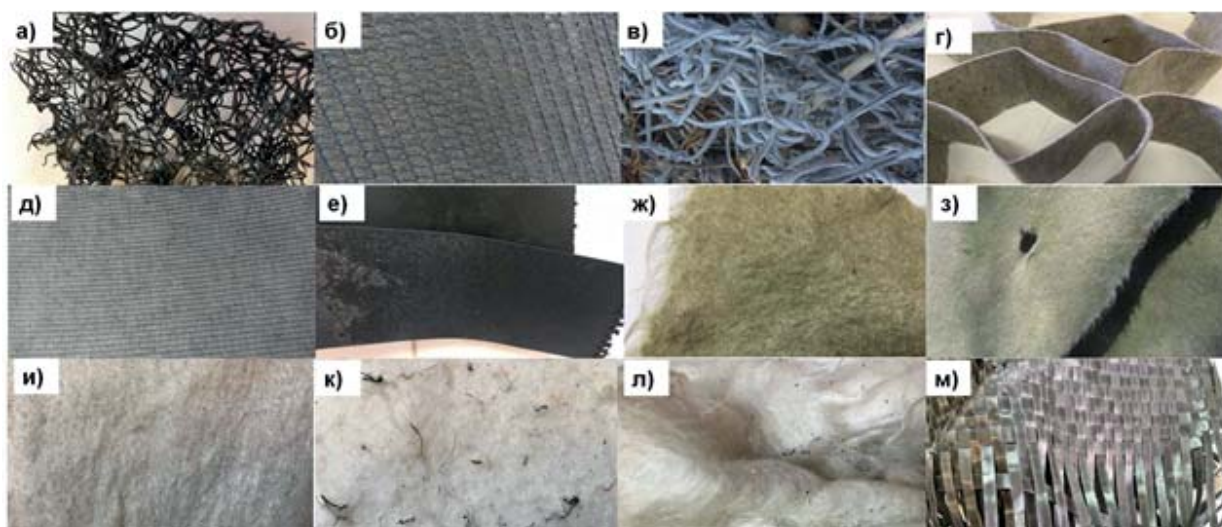
### *Обследование берегов*

В период с 22 октября 2017 года по 15 июня 2018 года на побережье Самбийского п-ова (рис. 1) были проведены обследования по определению загрязнения песчаных пляжей геосинтетическими материалами со следами деградации. За этот период проведено 43 экспедиционных выезда в различные районы побережья: Светлогорск (10 раз), Заостровье — мыс Гвардейский (4 раза), Сокольники (2 раза), Зеленоградск (5 раз), Куликово (7 раз), Роцино (6 раз), Рыбное (3 раза), Приморье (2 раза), мыс Таран (1 раз), Янтарный (3 раза). Эти участки берега были охвачены регулярными наблюдениями во время предыдущих обследований загрязнения пляжей микро-, мезо- и макропластиком, а также дополнительно и парафином [22]. Значительная часть наблюдений была проведена во время или после штормовых событий. Наблюдения в течение одного экспедиционного выезда на побережье проводились на дистанции от 500 м до 3 км по всей ширине пляжа. Отбор образцов сопровождался фотосъёмкой, ведением протокола с фиксацией координат и описанием места отбора проб. Каждый образец помещался в пакет на струне, дополнялся протоколом. Образцы доставлялись в лабораторию для дальнейшей обработки. Размер фрагментов геосинтетики составлял от 25 мм до 2,5 м, но преимущественно в диапазоне 20–70 см (рис. 2). В случае обнаружения на пляже больших кусков геотекстиля (более 1–2 м), от них отрезались небольшие фрагменты с характерными повреждениями. В 9-ти экспедиционных выездах из 43-х геотекстиль не был обнаружен, в 6-ти — фрагменты геотекстиля были обнаружены в труднодоступном месте (в воде или на склоне), в 2-х — наличие льда и снега не позволило провести качественный осмотр берега. В оставшихся 26 экспедиционных выездах было отобрано более 100 образцов фрагментов геосинтетических материалов<sup>1</sup>. Доставленные в лабораторию образцы геотекстиля сушились при комнатной температуре и упаковывались в пакеты на струне до последующих анализов.

<sup>1</sup> Для тех экспедиционных выездов, в которых геосинтетические образцы не были обнаружены, все-таки можно предположить, что небольшие куски геотекстиля просто не были замечены в кучах водорослей или под слоем песка и гальки.



**Рис. 1.** Район исследований включал побережье Вислинской и Куршской кос, западный и северный берега Самбийского полуострова (Юго-Восточная Балтика, Калининградская область, Россия). Указаны места, где в прибрежной зоне находятся берегозащитные сооружения, в конструкциях которых используются геосинтетические материалы (фото Есюковой Е. Е., Бурнашова Е. М.).



**Рис. 2.** Образцы геосинтетических материалов, собранных на пляжах Юго-Восточной Балтики в период октябрь 2017 — июнь 2018 гг.:

а) геоматы типа Стабимат СМТ 400 (PP), б) трикотажное полотно (PP, PE), в) полимерное покрытие (PVC) / HDPE металлической проволочной сетки для габионов, г–е) геоячейки (PP, HDPE или PE), ж–л) нетканый геотекстиль (типа дорнит, PP, PET), м) тканый геотекстиль (PP) (фото Есюковой Е. Е.).

## Результаты и обсуждение

### *Возможные источники геосинтетических материалов*

На берегах Самбийского п-ова были идентифицированы несколько локальных потенциальных источников загрязнения пляжей фрагментами геосинтетических материалов — берегозащитные сооружения, которые содержат эти материалы.

**В поселке Янтарный** имеются два инженерных сооружения, которые содержат геотекстиль: (1) защитные береговые сооружения длиной 80 м (2016 г.) у насосной станции янтарного комбината содержат контейнеры ГеобЭГ из технической ткани (РЕТ / РР / РА) и геотекстильные цементирующие оболочки (плиты) БетоБОКС из высокопрочной текстильной ткани (РЕТ) (рис. 3 а–з). Кроме вышперечисленных компонентов в основании у сооружения у насосной станции содержатся черные геоячейки (рис. 3 д–е), текстиль Дорнит и геоконтейнеры двух видов (рис. 3 ж–з) различной плотности, расположенные послойно (рис. 3 ж); (2) «Подпорная стенка с восстановлением берегового откоса» длиной 110 м (2012 г.) вблизи системы очистки сточных вод с использованием объемных георешеток Geoweb на площади 1714,1 м<sup>2</sup> и нетканого иглопробивного геотекстиля Дорнит 200 г/м<sup>2</sup> (РЕТ / РР) в основании склона на площади 850 м<sup>2</sup> (рис. 3 и–м). Железобетонные плиты сооружения снизу имеют слой изоляционной чёрной полиэтиленовой пленки. За время эксплуатации оба сооружения подверглись сильной деформации, часть конструкций разрушена, а геосинтетические материалы имеют различную степень износа и разрушения (рис. 3 а–м).

Кроме того, в осенне-зимний период 2017–2018 гг. во время эпизодических сильных штормов (например, 27–29 октября 2017 года — шторм Герварт) берег сильно пострадал, и дощатый настил нового променада, расположенного в 70–100 м от уреза воды, был погребён под толстым слоем песка (рис. 3 н, о). При расчистке променада песок был складирован по сторонам настила, покрыт и закреплен черным трикотажным (вязанным) геотекстилем (РР, РЕ, рис. 3 н–р), чтобы избежать смещения песка обратно на променада. Во время экспедиционных выездов было обнаружено, что отдельные фрагменты полотна на поверхности песка оголены, деформированы, имеют обтрёпанные края с большим количеством распустившихся волокон.

**Город-курорт Светлогорск:** В Светлогорске находится наибольшее количество инженерных сооружений, в конструкции которых включены

геосинтетические материалы. Это и новые сооружения вдоль нового строящегося променада (длина 1300 м, 2016–2018 гг.), и старые, уже частично деформированные, сооружения (габионы). Над строящимся променадом на площади 41995,8 м<sup>2</sup> ведется укрепление (армирование) склонов клифа геоматами типа Стабимат СМТ 400 с последующим закреплением и покрытием металлической сеткой. Геоматы — это трёхмерная полимерная структура, разновидность геокомпозитов, состоят из нитей РР, хаотично соединенных между собой термическим способом (рис. 2 а, рис. 4 а).

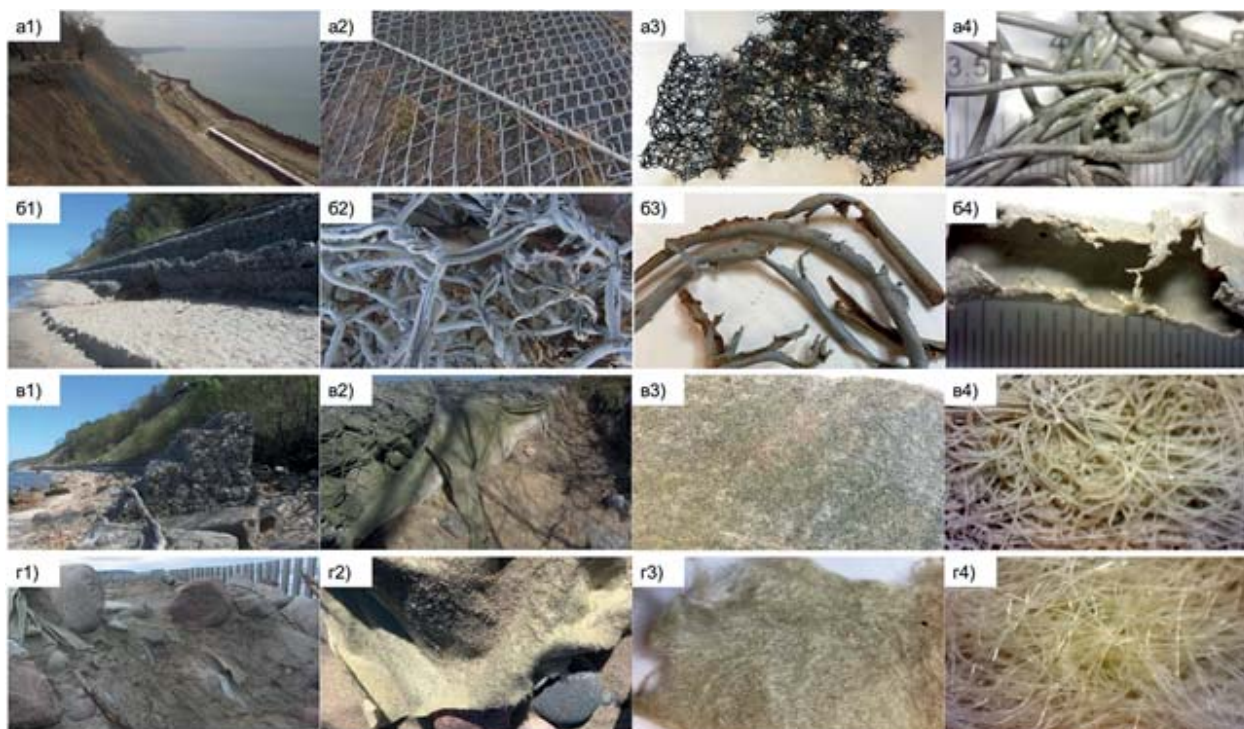
Несколько слоев габионов из металлической проволочной сетки с полимерным покрытием (PVC / HDPE) установлены друг на друга в основании склона клифа (рис. 4 б). Они заполненные камнем и образуют подпорную стенку, на которую опирается осыпающийся склон клифа. Габионы постройки 2007–2008 гг., расположенные с западной и восточной сторон от центрального променада (длиной 1437 м и 710 м соответственно) сильно пострадали от сильных штормов в осенне-зимние периоды 2011–2017 гг.: полимерное покрытие местами облезло с поржавевшей металлической проволочной сетки, стало ломким, легко разрушается и осыпается под механическим воздействием (рис. 4 б), прослойки из геотекстиля между слоями габионов порваны, позеленели, утратили свои первоначальные механические свойства (рис. 4 в).

Нетканый иглопробивной геотекстиль (РР / РЕТ) используется в обустройстве габионных конструкций, основаниях опор променада и защитных бермах (насыпях) вдоль пляжа: в старых габионах (2007–2008 гг.) использован Дорнит 2, 350–600 г/м<sup>2</sup> (рис. 4 в), в новых габионах и опорах — Дорнит 200 г/м<sup>2</sup>, в насыпях в районе строительства променада, крупный валунный камень на 400-метровом участке укладывается на основание из геотекстиля Дорнит 200 г/м<sup>2</sup> (рис. 4 г).

**Город-курорт Пионерский:** В Пионерском также активно проводится строительство инженерных сооружений с использованием геосинтетических материалов. Часть склона в месте стыковки променада городской набережной и променада вдоль государственного учреждения «Янтарь» укреплен подпорной стенкой и рядами габионов длиной 140 м (2012 г.). Габионы из металлической проволочной сетки с полимерным покрытием (PVC / HDPE) уложены на нетканый иглопробивной геотекстиль (РР / РЕТ) типа Дорнит 200 г/м<sup>2</sup>. Часть габионов (матрачно-тюфячной конструкции длиной 66 м в зоне пляжа) сильно деформирована, пластиковое покрытие на проржавевшей металлической сетке покрылось трещинами, стало хрупким и ломким,



**Рис. 3.** Геосинтетические материалы на берегах у пос. Янтарный: а) защитные береговые сооружения у насосной станции Янтарного комбината, б–г) геотекстильные цементирующие оболочки (плиты) БетоБОКС со следами деградации, д–е) геоячейки под плитами БетоБОКС, ж) послойное расположение геоматериалов под плитами БетоБОКС, з) деформированный геоконтейнер, и–м) «Подпорная стенка с восстановлением берегового откоса» со следами деформации, н–р) геотекстильное полотно, фиксирующее песок у променада пос. Янтарный (фото Есюковой Е. Е.).



**Рис. 4.** Геосинтетические материалы на берегах у г. Светлогорска: а1–а4 — геоматы, б1–б4 — полимерное покрытие металлической проволочной сетки габионов, в1–в4 — нетканый текстиль типа Дорнит в основании габионов, г1–г4 — нетканый текстиль типа Дорнит в основании насыпей. а4, б4, в4, г4 — образцы при увеличении  $\times 10$  (фото Есюковой Е. Е.).



**Рис. 5.** Геосинтетические материалы на берегах у г. Пионерского: а1–а3 и б1–б3 — габионы с металлической сеткой, покрытой полимерным покрытием со следами деградации, на пляже и в основании склона, в1–в3 — деформированные геоячейки на размытом склоне. а3, б3, в3 — образцы при увеличении  $\times 40$  (фото Есюковой Е. Е.).

легко разрушается и осыпается на песок под механическим воздействием (рис. 5 а, б). Склон в тыльной части набережной у государственного учреждения «Янтарь» длиной 880 м (2010 г.) был усилен серыми неперфорированными гибкими геоячейками (PP, HDPE или PE). Он был частично разрушен (рис. 5 в) во время продолжительного очень сильного шторма 27–29 октября 2017 года (шторм Герварт), восстановлен весной 2018 г. и укреплен нетканым иглопробивным геотекстилем Дорнит 150 г/м<sup>2</sup>.

**Поселок Заостровье:** В районе поселка Заостровье (следующий поселок на восток от Пионерского) при ремонте лестничного спуска на пляж были проведены (2016 г.) следующие берегоукрепительные мероприятия для укрепления склона: габионы длиной 30 м из металлической проволочной сетки с полимерным покрытием (PVC / HDPE) были уложены на нетканый иглопробивной геотекстиль (PP / PET) типа Дорнит 200 г/м<sup>2</sup>. В течение двух лет погребенная часть габионной конструкции периодически обнажалась из-за миграции песка во время штормов, обнаженные части геотекстильной подложки деформированы и местами оторваны (рис. 6).

В восточной части поселка Заостровье (к юго-востоку от мыса Гвардейский, рис. 1) у выхода коллектора очистных сооружений была

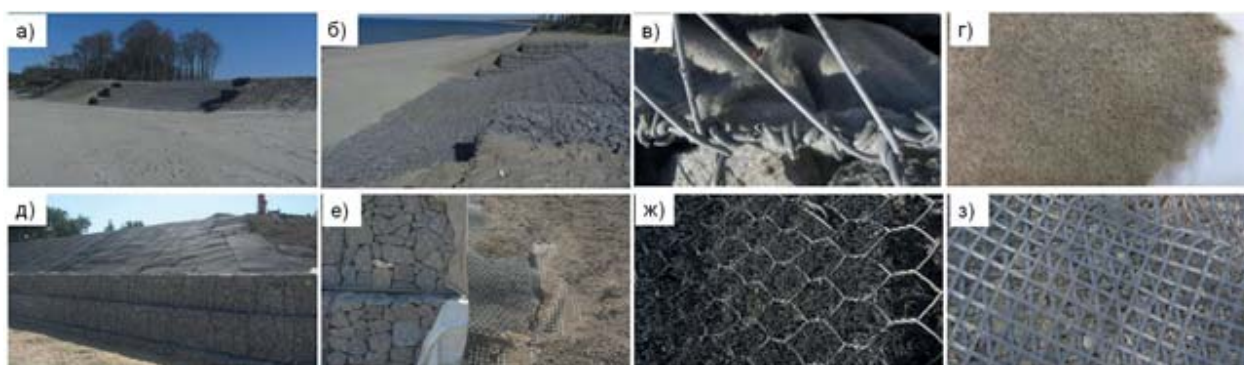
возведена габионная конструкция длиной 90 м (2008 г.) с использованием нетканого иглопробивного геотекстиля Дорнит 200 г/м<sup>2</sup> и коробов из металлической сетки с полимерным покрытием (PVC / HDPE).

**Поселок Рошино:** У пос. Рошино (восточнее пос. Куликово) в районе газового терминала возведено берегозащитное сооружение длиной 30 м (2018 г.), содержащее в конструкции два вида габионов: коробчатые и матрацно-тюфячные (рис. 7 а, б). Габионы из металлической проволочной сетки с полимерным покрытием (PVC / HDPE) уложены на нетканый иглопробивной геотекстиль (PP / PET) типа Дорнит, вероятно 200 г/м<sup>2</sup> (необходимо дополнительное обследование). В мае 2018 г. началось строительство второго сооружения на расстоянии  $\sim 200$  м восточнее первой конструкции. В отличие от первого габиона, второй объект имеет более сложную конструкцию: кроме коробчатых габионов с пластиковым покрытием и геотекстилем типа Дорнит в основании склона клифа (рис. 7 д, е), склон укреплен армирующей черной георешёткой (рис. 7 е, з), поверх которой уложены геоматы (геокомпози́ты как на склонах в Светлогорске), закреплённые сверху металлической сеткой (рис. 7 ж).

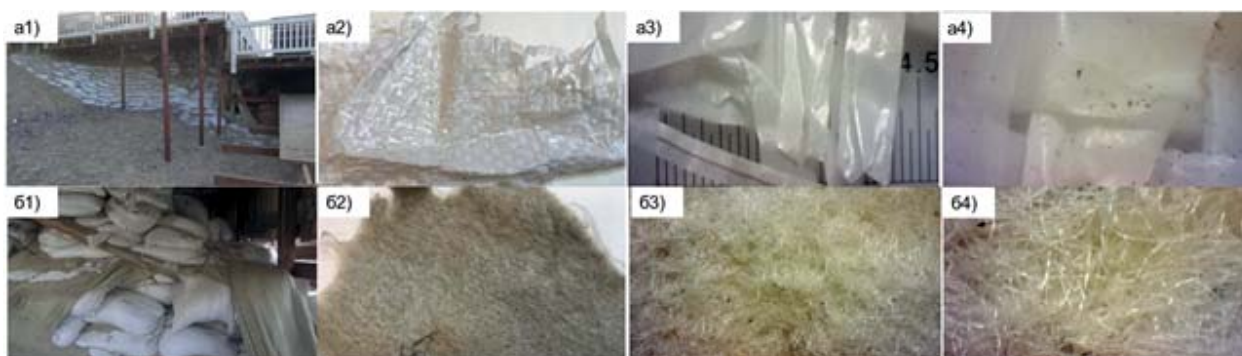
**Город-курорт Зеленоградск:** В восточной части Зеленоградска — в конце городской набережной



**Рис. 6.** Геосинтетические материалы на берегах у пос. Заостровье: а–ж) виды габионной конструкции в течение 2 лет с момента строительства, ж–з) геотекстиль в основании габиона со следами старения / биообрастания (фото Есюковой Е. Е.).



**Рис. 7.** Геосинтетические материалы на берегах у пос. Рожино: а–б) вид габиона, в) металлическая сетка с пластиковым покрытием и нетканый геотекстиль Дорнит 200 г/м<sup>2</sup>, г) геотекстиль Дорнит, д–е) сооружение к востоку от первого габиона с геотекстилем, габионами, геоматами и геосеткой, ж) геоматы с металлической сеткой, з) геосетка (фото Есюковой Е. Е.).



**Рис. 8.** Геосинтетические материалы на берегу у г. Зеленоградска: а1) тканые мешки, а2) фрагмент мешка, а3–а4) образцы при увеличении  $\times 10$ , 40; б1–б4) нетканый геотекстиль Дорнит, б3–б4) образцы при увеличении  $\times 10$ , 40 (фото Есюковой Е. Е.).

ной на авантуне под основанием комплекса ресторанов («Амбар» и «Дача») для защиты основания строений использовались (длина 130 м, 2013–2017 гг.) укрепления из тканых мешков с песком (PP / HDPE) и нетканый иглопробивной геотекстиль (PP / PET) Дорнит (рис. 8). Часть мешков уже деформирована, смыта волнами в море и выброшена на пляж (рис. 8).

**Корень Куршской косы:** Комплекс береговых защитных сооружений длиной 1066 м (1983–1990 гг.) восточнее г. Зеленоградска частично был утрачен при эпизодах разрушительных штормов и частично заменён / восстановлен в 2017–2018 гг. При реконструкции берегозащитных сооружений тетраподы и валунный материал укладывали на основания из нетканого иглопробивного геотекстиля (PP / PET / PE) Дорнит 500 г/м<sup>2</sup> полосой шириной 4 м на участке длиной 213 м.

#### *Загрязнение и миграция фрагментов геосинтетических материалов*

Большие фрагменты геотекстиля (мега / макроразмер, т. е. более 1 м / 2,5 см соответственно) и меньшие кусочки (мезо / микро размер, т. е. более 5 мм / 0,5 мм, соответственно), которые являются частями геосинтетических материалов из береговых берегозащитных сооружений, перемещаются в прибрежной зоне вдольбереговыми течениями. Наглядной иллюстрацией этого процесса является миграция под влиянием волн и течений обрывков лент от геоячеек серого цвета (рис. 5 в1–в2) из склона в Пионеском, вырванных во время шторма 27–29 октября 2017 г. Части от этих геоячеек были за несколько месяцев разбросаны на протяжении 11 км на восток от Пионерского: и в течение пяти месяцев после шторма они присутствовали на участке пляжа от Пионерского до мыса Гвардейский, через месяц их фрагменты были обнаружены к востоку от мыса Гвардейский у поселка Куликово (на расстоянии 7 км от источника), через 3,5 месяца — далее на Восток у пос. Роцино (9 км от источника), через 5,5 месяца — у пос. Сокольники (11 км от источника) (рис. 1). Некоторые большие фрагменты в относительно хорошем состоянии были обнаружены у подножия клифов и на поверхности песка посреди пляжа, но большинство сильно потрепанных обрывков геоячеек находилось на линиях штормовых заплесков, в кучах водорослей и другого антропогенного мусора, вместе с обрывками тканых синтетических мешков.

Другой пример — это рассыпающееся на отдельные фрагменты полимерное покрытие металлических проволочных сеток габионов, установленных в разных точках побережья Самбийского полуострова. Наблюдения показали,

что габионные конструкции в течение времени подвергаются прямому волно-прибойному воздействию из-за уменьшения ширины пляжа перед ними. Полимерное покрытие стареет, деградирует, покрывается трещинами, становится хрупким и ломким (рис. 4 б1–б4, рис. 5 б1–б3). При механическом воздействии оно легко разрушается и осыпается. Кусочки этого полимера можно встретить, например, в Куликово на расстоянии 6–8 км к востоку от ближайших конструкций габионов (Пионерский — Заостровье). Фрагменты оплётки попадают в морскую среду или продолжают разрушаться на пляже, вплоть до мезо- и микро размеров. Образцы таких покрытий ранее уже были обнаружены (2015–2016 гг.) при анализе образцов песка из штормовых заплесков на содержание макро- и мезо-частиц пластика [22].

Как старые, истёртые фрагменты, так и практически новые большие полотна (более 3,5 м в длину) нетканого иглопробивного геотекстиля типа Дорнит белого и фишашкового цвета чаще всего встречаются в районе Светлогорска и Пионерского, пос. Заостровье и Рыбное. Фрагменты, вырванные из берегозащитных конструкций, грязные и рваные, вымазанные мазутом или цементом, облепленные водорослями, обмотанные леской, напоминающие старый войлок (рис. 9), обнаружены на участке вдоль всего северного побережья Самбийского п-ова от мыса Таран и до корня Куршской косы.

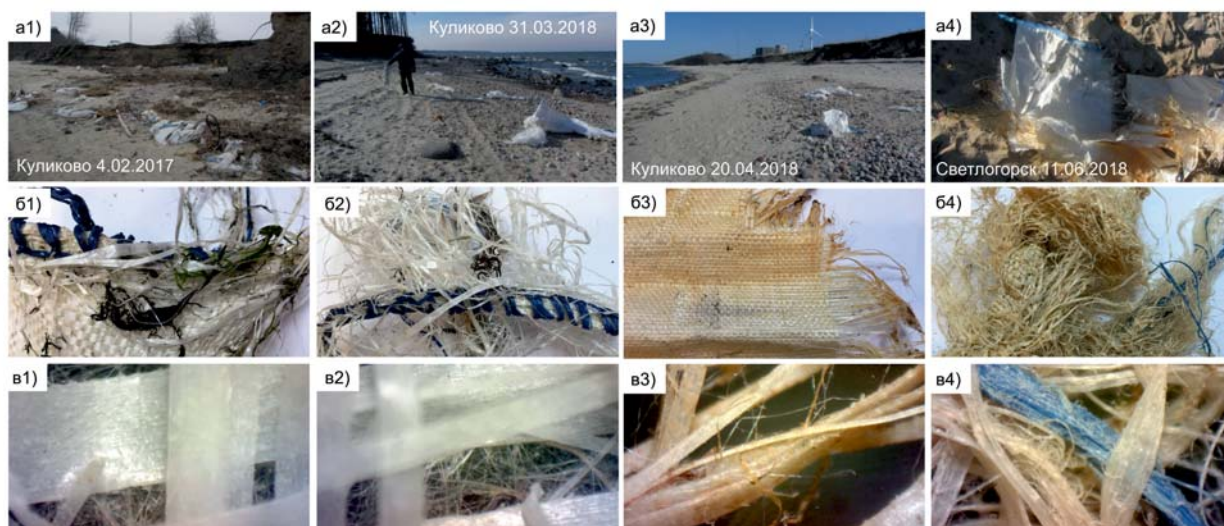
В Светлогорске склоны армируют геокомпозитными материалами (геоматами) с 2016 года. Небольшие фрагменты (до 5 см) синтетических геокомпозитов были обнаружены на линиях штормовых заплесков в западной части городского пляжа — на расстоянии более одного километра от армированного склона. Это говорит о том, что пластиковый мусор мигрирует в самых различных направлениях от источника загрязнения, что связано с локальным направлением вдольбереговых течений и итоговой миграцией пляжевых наносов.

#### *Наиболее видимый эффект загрязнения геосинтетическими материалами*

Огромное количество фрагментов и волокон от тканых контейнеров биг-бэгов наблюдались повсеместно в окрестностях Светлогорска и Пионерского, пос. Рыбное, Заостровье, Куликово, Роцино, Сокольники и т. д. При строительстве променада в Светлогорске, газового терминала у пос. Роцино (как и при строительстве многих других инженерных и берегозащитных сооружений) использовались мягкие белые контейнеры 4-стропные с (с голубыми, реже оранжевыми стропами)



**Рис. 9.** Фрагменты нетканого иглопробивного геотекстиля типа Дорнит различной степени деградации на пляжах Калининградской области (фото Есюковой Е. Е.).



**Рис. 10.** Синтетические мешки типа Биг-бэг на пляжах Калининградской области (а1–а4), примеры деградации синтетической ткани биг-бэгов (б1–б4), структура ткани при увеличении  $\times 40$  (в1–в4) (фото Есюковой Е. Е.).

из тканого текстиля (PP, HDPE, PA) типа Биг-бэг (или FIBC Bag, PP Bag) грузоподъемностью от 300 кг до 3000 кг для хранения и транспортировки цемента, строительных смесей, песка и т. д., а также для целей берегоукрепления во время строительства (рис. 10 а–в). К сожалению, множество таких контейнеров, деформированных целых или в виде фрагментов, осталось в морской среде. Об активном вдольбереговом перемещении фрагментов контейнеров можно судить по факту обнаружения остатков этих мешков вдоль всего северного побережья Самбийского п-ова, и далее на север — вдоль Куршской косы (Национальный парк «Куршская коса» — объект

всемирного наследия ЮНЕСКО). Остатки этих контейнеров под влиянием окружающей среды подвергаются сильному механическому истиранию, фото- / термо- / биodeградации, желтеют, становятся ломкими и хрупкими. Фрагменты от этих контейнеров (рис. 10 б, в) распадаются на отдельные волокна, которые загрязняют всю береговую линию, оставаясь в толще пляжа или перемещаясь с водорослями и другим мусором, а при ветро-волновом воздействии транспортируются на большие расстояния вдоль берега и оседают на пляже или подводном склоне, откуда вновь попадают на пляж во время штормового события достаточной силы, чтобы взмутить их

с места захоронения. По мере деградации такие волокна переходят в другой размерный ряд — от макропластика к мезо- и микропластику.

## Выводы

По результатам обследований побережья Самбийского п-ова (Калининградская область, Россия) в период с 22 октября 2017 года по 15 июня 2018 года с целью определением факта загрязнения песчаных пляжей фрагментами геосинтетических материалов были сделаны следующие выводы.

Идентифицированы локальные потенциальные источники загрязнения пляжей — прибрежные инженерные и берегозащитные сооружения, которые в своей конструкции содержат геосинтетические материалы: в Янтарном (подпорные стенки и защитные сооружения — плиты БетоБОКС, контейнеры ГеоБЭГ, геоячейки, объемные георешетки Geoweb, геотекстиль типа Дорнит, изоляционные полиэтиленовые плёнки, трикотажный геотекстиль), в Светлогорске (армированные склоны, защитные бермы, габионы и опоры в основании променада — геоматы, геотекстиль типа Дорнит, полимерное покрытие габионов, биг-бэги), в Пионерске (габионы и армированные склоны — геотекстиль типа Дорнит, полимерное покрытие габионов, геоячейки), в Заостровье (габионы — геотекстиль типа Дорнит, полимерное покрытие габионов), в Роцино (габионы, подпорные стенки и армирование склона — геоматы, георешетки, геотекстиль типа Дорнит, полимерное покрытие габионов), в Зеленоградске (укрепление основания пляжных кафе и ресторанов — геоконтейнеры и геотекстиль типа Дорнит), на корне Куршской косы (защитные бермы — геотекстиль типа Дорнит).

Со временем геосинтетические материалы, использованные в конструкциях на берегах Калининградской области и обнаженные в связи с разрушением этих конструкций, теряют свои свойства, подвергаются механическому истиранию, фотодеградации, термодegradации, биодеградации / биообрастанию, разрываются и рассы-

паются на более мелкие части / волокна. Волокна из разломаченных и потрёпанных геотекстилей легко разделяются и переходят в другой диапазон размеров — от мега / макропластиков до мезо / микро / нанопластиков.

Наибольший видимый эффект в загрязнение пляжей вносят остатки от тканых текстилей (контейнеров / мешков), активно распадающиеся на волокна, которые мигрируют вдоль берега, оседая на пляже и на дне. Фрагменты нетканых геотекстилей из защитных берм в большом количестве поступают в морскую среду и с течением времени превращаются в лохмотья и лоскуты.

По нашему мнению наибольшую экологическую опасность представляют габионы, содержащие в основании пластиковое покрытие (PVC / HDPE) и нетканые синтетические геотекстиль типа Дорнит: ветро-волновое воздействие (особенно в эпизоды разрушительных штормов в осенне-зимний период) приводит к значительной деформации габионов, геотекстиль обнажается, обрывается, а пластиковое покрытие проволочных сеток растрескивается и охрупчивается, распадается на все более мелкие кусочки. Следы такого «каскада разрушения» геосинтетиков наблюдаются на пляжах вдоль всего северного побережья Самбийского п-ова.

Фрагменты геосинтетиков, оборванные и отделённые от конструкций, мигрируют на большие расстояния вдоль берега. Это хорошо прослеживается на примере смытых во время сильнейшего шторма (27–29 октября 2017 года) лент от геоячеек с искусственно возведенного склона в Пионерском: за несколько месяцев их разброс составил около 11 км — от Пионерского до пос. Сокольники. Или пример рассыпающегося на отдельные фрагменты полимерного покрытия проволочных сеток от габионов, кусочки от которого можно встретить в Куликово на расстоянии 6–8 км к востоку от ближайших конструкций габионов (Пионерский — Заостровье).

Установлено, что все деформированные геосинтетические с пляжей не удаляются, и это приводит к их дальнейшему распаду и засорению морской среды микрочастицами / микроволокнами.

## Благодарности

Полевые работы, анализ данных и подготовка статьи осуществлялись при поддержке РФФИ (проект № 18-55-76002 ЭРА\_а) с выполнением сравнительного анализа в рамках темы № 0149-2018-0012 / 0149-2019-0013 государственного задания ИО РАН. Авторы выражают благодарность сотрудникам Государственного бюджетного учреждения Калининградской области «Балтберегозащита» за информацию об особенностях конструкции сооружений и используемых в них геосинтетических материалах.

## Л и т е р а т у р а

1. Hand Book of Geotextiles (Special Publication 8.2.34). Bombay Textile Research Association (BTRA). Bombay, 2012. 187 p.
2. Nizam M. E. H., Das S. C. Geo Textile — A Tremendous Invention of Geo Technical Engineering // IJASGE. 2014. Vol. 3(3). pp. 221–227.
3. Textile Terms and Definitions (11th ed. / M. J. Denton and P. N. Daniels (Eds.)). Manchester, England: Textile Institute, 2002. 407 p.
4. Das C. H., Paul D., Fahad M. M., Islam T., Nizam M. E. H. Geotextiles — A potential technical textile product // J. Sci. Eng. Res. 2017. Vol. 4(10). pp. 337–350.
5. Mitra A. Application of geotextiles in Coastal Protection and Coastal Engineering Works: An overview // Int. Res. J. Environment Sci. 2015. Vol. 4(4). pp. 96–103.
6. Müller W. W., Saathoff F. Geosynthetics in geoenvironmental engineering // Sci. Technol. Adv. Mater. 2015. Vol. 16 (3). Paper 034605. pp. 1–20. DOI: 10.1088/1468-6996/16/3/034605.
7. Wiewel B. V., Lamoree M. Geotextile composition, application and ecotoxicology—A review // J. Hazard. Mater. 2016. Vol. 317. pp. 640–655. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2016.04.060.
8. Chubarenko I., Bagaiev A., Zobkov M., Esiukova E. On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment // Mar. Pollut. Bull. 2016. Vol. 108. pp. 105–112. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.04.048.
9. 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. pp. 3060–3075. DOI: 10.1016/j.marenvres.2013.02.015.
10. Andrady A. L. Microplastics in the marine environment // Mar. Pollut. Bull. 2011. Vol. 62(8). pp. 1596–1605. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030.
11. Wang J., Tan Z., Peng J., Qiu Q., Li M. The behaviors of microplastics in the marine environment // Mar. Environ. Res. 2016. Vol. 113. pp. 7–17. DOI: 10.1016/j.marenvres.2015.10.014.
12. Law K. L. Plastics in the Marine Environment // Annu. Rev. Mar. Sci. 2017. Vol. 9. pp. 205–229. DOI: 10.1146/annurev-marine-010816-060409.
13. Tosin M., Weber M., Siotto M., Lott C., Degli I. F. Laboratory test methods to determine the degradation of plastics in marine environmental conditions // Front. Microbiol. 2012. Vol. 3. Article number 225. pp. 1–9. DOI:10.3389/fmicb.2012.00225.
14. Ivar do Sul J. A., Costa M. F. The present and future of microplastic pollution in the marine environment // Environ. Pollut. 2014. Vol. 185. pp. 352–364. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.10.036.
15. Marine Anthropogenic Litter (M. Bergmann, L. Gutow and M. Klages (Eds.)). Springer, 2015. 447 p.
16. Microplastic Contamination in Aquatic Environments : An Emerging Matter of Environmental Urgency (E. Y. Zeng (Ed.)). Elsevier, 2018. 424 p.
17. Esiukova E. E., Chubarenko B. V., Simon F.-G. Debris of geosynthetic materials on the shore of South-Eastern Baltic (Kaliningrad Oblast, Russian Federation) // The 7th IEEE/OES Baltic Symposium “Clean and Safe Baltic Sea and Energy Security for the Baltic countries”, (Klaipeda, Lithuania 12–15th of June 2018): Proceedings. Publisher: IEEE, 2018. (в печати).
18. Labuz T. A. Environmental Impacts — Coastal Erosion and Coastline Changes / In: The BACC II Author Team (Eds.). Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin, Regional Climate Studies. Berlin. Springer. 2015. pp. 381–396.
19. The Baltic Sea Basin (J. Harff, S. Björck and P. Hoth (Eds.)). Berlin. Springer. 2011. 449 p.
20. Бобыкина В. П., Стонт Ж. И. О зимней штормовой активности 2011–2012 гг. и ее последствиях для побережья Юго-Восточной Балтики // Водные ресурсы. 2015. Т. 42. № 3. С. 322–328. DOI: 10.7868/S0321059615030025.
21. Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов. М.: Изд-во АН СССР. 1962. 710 с.
22. Esiukova E. Plastic pollution on the Baltic beaches of the Kaliningrad region, Russia // Mar. Pollut. Bull. 2017. Vol. 114. pp. 1072–1080. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.10.001.

## References

1. Hand Book of Geotextiles (Special Publication 8.2.34), Bombay, Bombay Textile Research Association (BTRA), 2012, 187 p.
2. Nizam M.E.H., Das S.C. Geo Textile — A Tremendous Invention of Geo Technical Engineering, IJASGE, 2014, vol. 3(3), pp. 221–227.
3. Textile Terms and Definitions, 11th ed., Denton M. J. and Daniels P. N. (Eds.), Manchester, England: Textile Institute, 2002, 407 p.
4. Das C. H., Paul D., Fahad M. M., Islam T., Nizam M. E. H. Geotextiles — A Potential Technical Textile Product, J. Sci. Eng. Res., 2017, vol. 4(10), pp. 337–350.
5. Mitra A. Application of geotextiles in Coastal Protection and Coastal Engineering Works: An overview. Int. Res. J. Environment Sci., 2015, vol. 4(4), pp. 96–103.
6. Müller W.W., Saathoff F. *Geosynthetics in geoenvironmental engineering*. Sci. Technol. Adv. Mater., 2015, vol. 16 (3), Paper 034605, pp. 1–20. DOI: 10.1088/1468-6996/16/3/034605.

7. Wiewel B.V., Lamoree M. Geotextile composition, application and ecotoxicology — A review. *J. Hazard. Mater.*, 2016, vol. 317, pp. 640–655. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2016.04.060.
8. Chubarenko I., Bagaiev A., Zobkov M., Esiukova E. On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment. *Mar. Pollut. Bull.*, 2016, vol. 108, pp. 105–112. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.04.048.
9. 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, pp. 3060–3075. DOI: 10.1016/j.marenvres.2013.02.015.
10. Andrady A. L. Microplastics in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.*, 2011, vol. 62(8), pp. 1596–1605. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030.
11. Wang J., Tan Z., Peng J., Qiu Q., Li M. The behaviors of microplastics in the marine environment. *Mar. Environ. Res.*, 2016, vol. 113, pp. 7–17. DOI: 10.1016/j.marenvres.2015.10.014.
12. Law K. L. Plastics in the Marine Environment. *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 2017, vol. 9, pp. 205–229. DOI: 10.1146/annurev-marine-010816-060409.
13. Tosin M., Weber M., Siotto M., Lott C., Degli I.F. Laboratory test methods to determine the degradation of plastics in marine environmental conditions. *Front. Microbiol.*, 2012, vol. 3, Article number 225, pp. 1–9. DOI:10.3389/fmicb.2012.00225.
14. Ivar do Sul J. A., Costa M. F. The present and future of microplastic pollution in the marine environment. *Environ. Pollut.*, 2014, vol. 185, pp. 352–364. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.10.036.
15. Marine Anthropogenic Litter. Bergmann M., Gutow L. and Klages M. (Eds.), Springer, 2015, 447 p.
16. Microplastic Contamination in Aquatic Environments: An Emerging Matter of Environmental Urgency, Zeng E. Y. (Ed.), Elsevier, 2018, 424 p.
17. Esiukova E. E., Chubarenko B. V., Simon F.-G. Debris of geosynthetic materials on the shore of South-Eastern Baltic (Kaliningrad Oblast, Russian Federation), The 7th IEEE/OES Baltic Symposium “Clean and Safe Baltic Sea and Energy Security for the Baltic Countries” (Klaipeda, Lithuania, 12–15<sup>th</sup> of June 2018): Proceedings, IEEE Publ., 2018 (in print).
18. Łabuz T. A. Environmental Impacts — Coastal Erosion and Coastline Changes, In: The BACC II Author Team (Eds.), Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin, Regional Climate Studies. Berlin, Springer, 2015, pp. 381–396.
19. The Baltic Sea Basin, Harff J., Björck S. and Hoth P. (Eds.), Berlin, Springer, 2011, 449 p.
20. Bobykina V. P., Stont Zh. I. Winter storm activity in 2011–2012 and its consequences for the southeastern Baltic coast. *Water Resources*, 2015, vol. 42, pp. 371–377. DOI 10.1134/S0097807815030021.
21. Zenkovich V.P. *Osnovy ucheniya o razvitiy morskikh beregov* [Fundamentals of the Theory of the Development of the Sea Coast], Moscow, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1962, 710 p. (In Russian).
22. Esiukova E. Plastic pollution on the Baltic beaches of the Kaliningrad region, Russia. *Mar. Pollut. Bull.*, 2017, vol. 114, pp. 1072–1080. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.10.001.

#### Краткая информация об авторах:

##### **Есюкова Елена Евгеньевна**, к. г. н.

Старший научный сотрудник, лаборатория физики моря.

Специализация: Океанология, взаимодействие океана и атмосферы, тепло- и водообмен, прибрежная зона, лабораторное и численное моделирование, натурный эксперимент, Балтийское море, мониторинг состояния окружающей среды, микропластик в морской среде.

E-mail: elena\_esiukova@mail.ru

##### **Elena E. Esiukova**, PhD (Geogr.)

Senior Researcher, Laboratory for Marine Physics

Areas of interests: oceanology, ocean-atmosphere interaction, heat and water exchange, coastal zone, laboratory and numerical modeling, field experiment, the Baltic Sea, environmental monitoring, microplastics in the marine environment.

E-mail: elena\_esiukova@mail.ru

##### **Чубаренко Борис Валентинович**, к. ф.-м. н.

Заведующий лабораторией прибрежных систем.

Специализация: Прибрежная зона моря и внутренние прибрежные воды - лагуны и эстуарии, включая водосборный бассейн, физических особенности функционирования этих систем в различных временных масштабах; прикладные исследования, использование численных моделей, методы мониторинга.

E-mail: chuboris@mail.ru

##### **Boris V. Chubarenko**, PhD (Phys.-Math.)

Head of Laboratory for Coastal Systems Study

Areas of interests: marine coastal zone and inland coastal waters - lagoons and estuaries, including a catchment basin, physical features of the functioning of these systems at different time scales; applied research, the use of numerical models, monitoring methods.

E-mail: chuboris@mail.ru

**Бурнашов Евгений Михайлович**, к. г. н.

Заместитель директора ГБУ КО «Балтберегозащита» по мониторингу и безопасности ГТС

Специализация: Геоэкология, динамика и геоэкологическое состояние морского берега, берегозащитные мероприятия, мониторинг и оценка состояния берегозащитных и берегоукрепительных сооружений на морском побережье Калининградской области.

E-mail: burnashov\_neo@mail.ru

**Evgenii M. Burnashov**, PhD (Geogr.)

Deputy Director for Monitoring and Safety of Hydrotechnical Structures, State Governmental Institution of Kaliningrad Oblast "Baltcoastprotection"

Areas of interests: eoecology, dynamics and geoecological condition of the sea coast, shore protection measures, monitoring and assessment of the state of existing coastal protection structures on the seacoast of the Kaliningrad Region.

E-mail: burnashov\_neo@mail.ru

**Для цитирования:** Есюкова Е. Е., Чубаренко Б. В., Бурнашов Е. М. Геосинтетические материалы как источник загрязнения пластиковым мусором морской среды // Региональная экология. 2018. № 3(53). С. 15–28. DOI 10.30694/1026-5600-2018-3-15-28.

**For citation:** Esiukova E. E., Chubarenko B. V., Burnashov E. M. *Geosinteticheskie materialy kak istochnik zagryazneniya plastikovym musorom morskoy sredy* [Geosynthetic materials as a source of pollution of the marine environment by plastic debris]. *Regional'naya ekologiya* [Regional Ecology], 2018, no. 3(53), pp. 15–28. (In Russian). DOI 10.30694/1026-5600-2018-3-15-28.