

РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ЮЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ
И ВОЗДЕЙСТВИЯ МОРСКИХ, АТМОСФЕРНЫХ
ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ И КАТАСТРОФ
НА ПРИБРЕЖНУЮ ЗОНУ РФ
В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ
КЛИМАТИЧЕСКИХ И ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ВЫЗОВОВ**

(«ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ - II»)

**Материалы II Международной научной конференции
памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова
(г. Ростов-на-Дону, 6–10 июля 2020 г.)**

Ростов-на-Дону
Издательство ЮНЦ РАН
2020

Редколлегия:

академик Г.Г. Матишов, д.г.н. С.В. Бердников,
к.г.н. Е.Э. Кириллова, к.б.н. Н.И. Булышева, к.б.н. А.И. Ермолаев,
к.ф.-м.н. А.В. Назаренко, к.т.н. В.В. Кулыгин, Р.Г. Михалюк

Печатается по решению Ученого совета ЮНЦ РАН № 2 от 11.06.2020.

- 3-19** **Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов («Опасные явления – II»): материалы II Международной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова (г. Ростов-на-Дону, 6–10 июля 2020 г.). – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2020. – 428 с. – ISBN 978-5-4358-0204-7.**

Сборник посвящен памяти чл.-корр. РАН Дмитрия Геннадьевича Матишова – известного в стране и за рубежом специалиста в области морских наук, одного из основателей радиационной экологической океанологии.

Представлены результаты научных исследований в области выявления закономерностей формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону России в условиях глобальных климатических изменений и индустриальных вызовов. Сборник содержит результаты исследований по наиболее актуальным в мировой науке направлениям: анализу и прогнозированию опасных природных явлений и катастроф; аномальным изменениям морской среды под влиянием климатической и сейсмической нестабильности; биологическим инвазиям как экологической проблеме; опасным береговым процессам; воздействию морских опасных явлений и природных катастроф на медико-экологические, социально-экономические, культурно-исторические и политические процессы в России.

Издание рассчитано на широкий круг специалистов, интересующихся изучением морских, атмосферных природных явлений и их воздействия на прибрежную зону.

УДК 551.5:504.4(063)(470)

Проведение мероприятия и публикация издания осуществлены при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 20-05-20045.

Редколлегия не несет ответственности за недостоверность приводимой авторами информации.
Материалы опубликованы с максимальным сохранением авторской редакции.

ОЦЕНКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОСТАТКОВ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ОТ ПОБЕРЕЖЬЯ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.Н. Соколов, Б.В. Чубаренко

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва
tengritag@gmail.com, chuboris@mail.ru*

Штормовое воздействие [Бобыкина, Стонт, 2015; Соколов и др., 2016], приводящее к значительной абразии берегов Калининградской области [Karmanov et al., 2018], определяет необходимость регулярного проведения берегозащитных мероприятий. В таких случаях на помощь приходят современные технологии и новые искусственные (синтетические) материалы [Домнин и др., 2019], которые применяются в конструкциях для увеличения продолжительности сроков службы берегозащитных сооружений.

К берегозащитным сооружениям, служащим для стабилизации подверженных обрушениям берегов, относятся в частности габионы, расположенные в районе Светлогорской бухты (Source на рис. 1). Габионные конструкции не предназначены для берегоукрепления в условиях прямого волнового воздействия, но во время штормов, при значительном подъеме уровня моря волны начинают бить непосредственно в основание сооружения, и возникают условия для разрушения габионной сетки, удерживающей каменную кладку от рассыпания. Сетка имеет полимерную оплетку, которая также разрушается. Плотность материала оплетки практически совпадает с плотностью воды, и ее фрагменты, обладая практически нейтральной плавучестью, могут перемещаться волнами и течениями далеко от места появления. Таким образом, при решении задачи берегоукрепления в Калининградской области возникла проблема загрязнения окружающей среды остатками геосинтетических материалов [Есюкова и др., 2018; Esiukova et al., 2018].

Задачей настоящего исследования было оценить возможные пути перемещения фрагментов оплетки, поступающих в море при разрушении берегозащитных сооружений Калининградской области, с помощью математического моделирования.

Для моделирования использовался программный комплекс Датского Гидравлического института DHI MIKE1 (<https://www.mikepoweredbydhi.com>), а именно его гидродинамический модуль, позволяющий рассчитать трехмерные поля скоростей течений. Расчет основывался на решении уравнений мелкой воды и велся методом конечных элементов на нерегулярной сетке. Расчетная область охватывала всё Балтийское море, включая Ботнический залив (см. рис. 1). Типичная длина стороны элемента сетки составляла 6–10 км, а минимальная (в прибрежных областях юго-восточной Балтики) – 100–200 м. Такое представление позволяет сократить время расчета и обеспечить его высокую точность в областях, представляющих наибольший интерес.

По вертикальной координате использовалась комбинация σ - и z -слоев: 10 σ -слоев до глубины 20 м (количество слоев не меняется, толщина слоя меняется пропорционально

глубине). Глубже 20 м использовались z-слои фиксированной толщины, максимальное количество которых в самом глубоком месте Балтики равнялось 10 (т.е. всего 20 слоев: 10 σ - и 10 z-слоев), а по мере уменьшения глубины количество z-слоев автоматически сокращалось. Расчет 3-мерных полей течений (без учета поверхностного волнения и термохалинной циркуляции) производился с использованием логарифмического закона зависимости вертикальной турбулентной вязкости от глубины (как показавшего наилучшие результаты при калибровке). Все границы расчетной области считались закрытыми. Данные об атмосферном воздействии (значения компонентов скорости ветра на высоте 10 м над уровнем моря и атмосферное давление) извлекались из системы глобального реанализа ERA-Interim, находящейся в открытом доступе в сети Интернет (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim>). Шаг сетки извлекаемых данных по широте и долготе составлял 1 град., временной шаг равнялся 6 ч. Для отслеживания возможных путей перемещения фрагментов оплетки использовался модуль транспорта лагранжевых частиц программного комплекса MIKE.

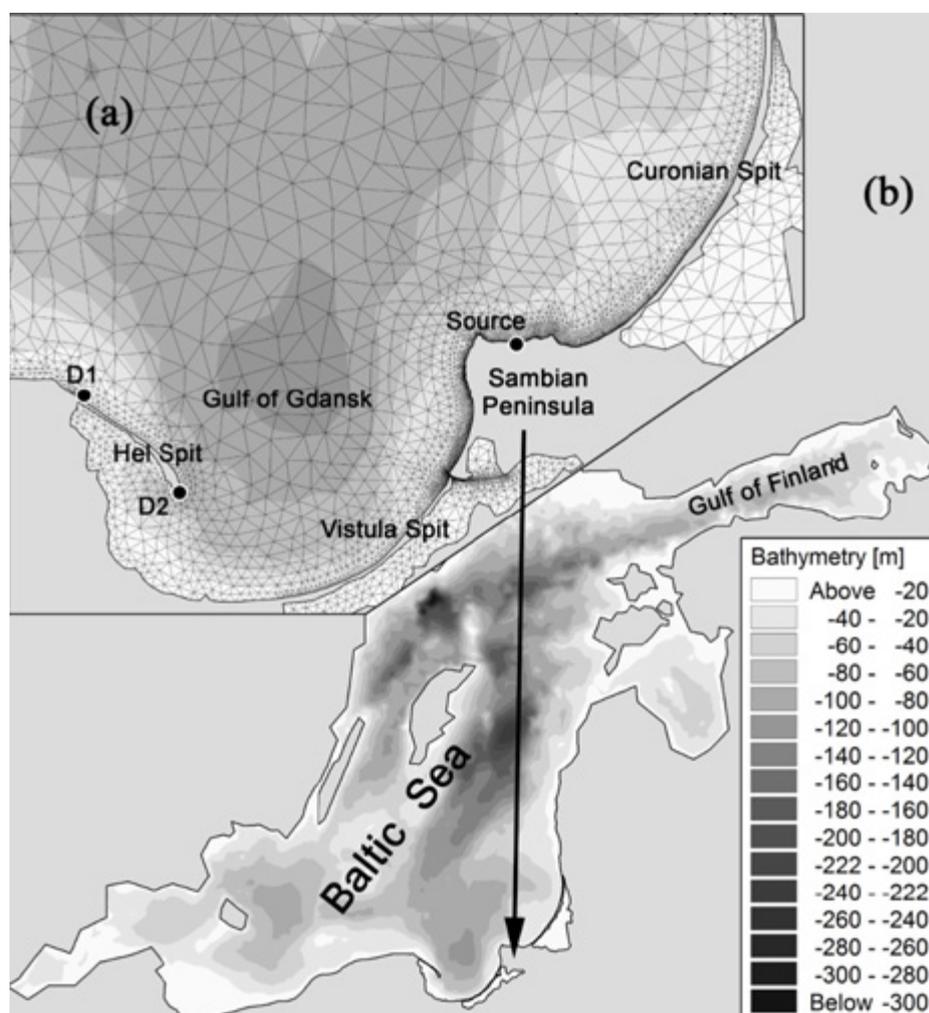


Рис. 1. Расчетная область с картой глубин:

(а) фрагмент расчетной сетки в районе Самбийского полуострова;

(б) общий вид расчетной области. D1 и D2 – точки старта дрифтеров.

Source – источник пластикового мусора (оплетки от габионов) в районе Светлогорской бухты

Верификация численной модели производилась путем сравнения реальных и смоделированных траекторий дрейфтеров (рис. 2), запущенных 01.11.2017 с корня косы Хель из точки D1 и 02.11.2017 – с оконечности косы Хель из точки D2.

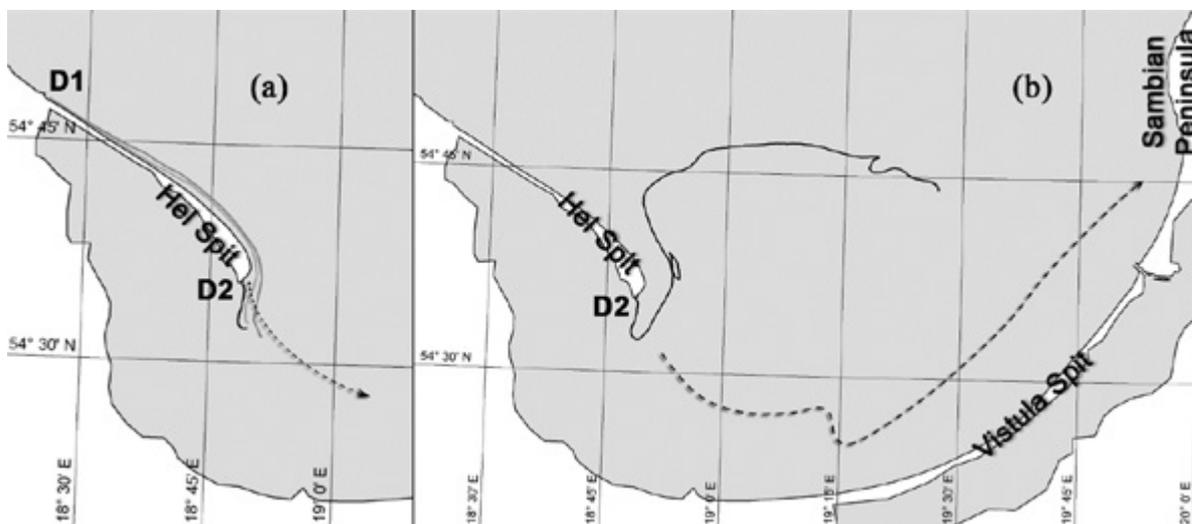


Рис. 2. Модельные (сплошные линии) и реальные (пунктирные линии) треки дрейфтеров:

- (a) – на момент отключения дрейфтеров, запущенных из точки D1 (4 ноября 2017 г.);
- (b) – на момент отключения дрейфтера, запущенного из точки D2 (16 ноября 2017 г.)

Дрейфтеры, запущенные из точки D1, подавали сигналы до 04.11.2017. За первый день они прошли до оконечности косы Хель. До этого момента траектории реальных и модельных (сплошные серые линии на рис. 2а) практически совпадали. Далее реальные дрейфтеры, запущенные из точки D1, а также дрейфтеры, запущенные из точки D2, в течение двух дней двигались в южном-юго-восточном направлении в сторону южного берега Гданьского залива (см. пунктирную линию на рис. 2а). Модельные же дрейфтеры на эти два дня практически затормозились и далее двинулись в северном направлении. Реальный дрейфтер, запущенный 02.11.2017 из точки D2, двигался вдоль Вислинской косы на расстоянии нескольких десятков километров от берега (см. пунктир на рис. 2b), иногда совершая сложные петлеобразные движения, не показанные на рисунке. Трек же модельного дрейфтера сразу сильно отклонился в северном направлении. Хотя общие направления движения реального и модельного дрейфтеров (в сторону западного побережья Самбийского полуострова) совпадают, различия весьма заметны.

Полученные результаты позволяют надеяться, что используемая инсталляция 3-мерной модели количественно адекватно описывает течения в районе берега, а для более удаленных акваторий позволяет получать качественно верные результаты.

Модельный сценарий предполагал, что из потенциального источника загрязнений (Source на рис. 1), расположенного в районе г. Светлогорск Калининградской области, один раз в час испускается частица пассивного трассера (не оседает на дно и берег).

Расчет проводился для 2017 г. Полученная картина траекторий (рис. 3) характерна только для данного года и не может рассматриваться как среднесноголетняя. Она очень ярко отражает типичный для Юго-Восточной Балтики эффект переноса трассера вдоль

берега на север, и почти совсем не показывает распространение частиц в сторону Гданьского залива (только частично вдоль западного берега Самбийского полуострова).

Модельные расчеты не показали распространение трассера на север далее входа в Рижский залив, что иллюстрирует возможный масштаб годового распространения. Также примечательно, что распространение пассивных частиц в сторону центра Балтики происходило в модели только в глубинных, а не поверхностных слоях, что говорит о водообмене прибрежной зоны с открытой акваторией Балтики по «нагонному» типу: приток в сторону берега по поверхности, а отток – в глубинных слоях.

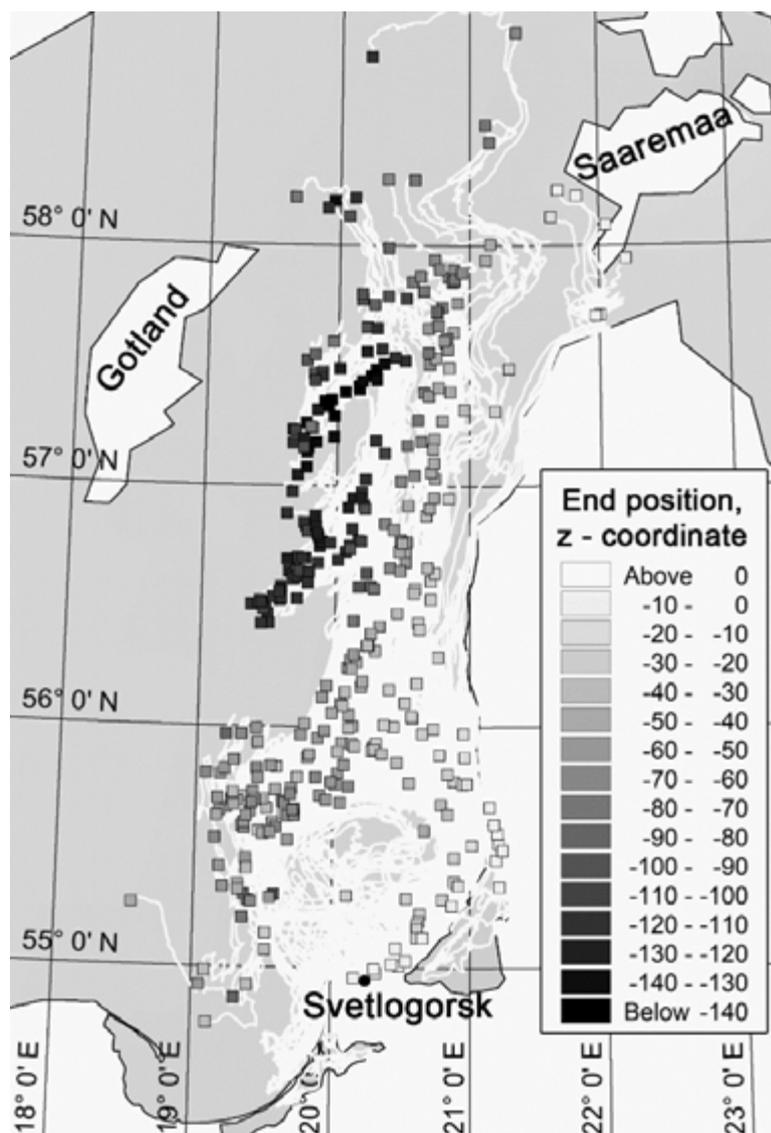


Рис. 3. Модельные траектории трассеров, выпущенных из источника в Светлогорске, за 2017 г.
Квадрат обозначает конечное положение трассера,
а его цвет соответствует конечной глубине

Создание расчетной сетки и верификация гидродинамической модели по трекам дрейфтеров выполнялись в рамках госзадания ИО РАН (тема № 0149-2019-0013). Анализ и интерпретация результатов проводились при поддержке гранта РФФИ № 18-55-76002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Домнин Д.А., Бурнашов Е.В., Есюкова Е.Е., Карманов К.В. Влияние мероприятий инженерной защиты с использованием геосинтетических материалов на состояние оползневых склонов морского побережья Калининградской области // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов: сб. мат-лов IV Междунар. науч.-практ. конф., приуроч. к 1000-летию г. Бреста (Брест, 12–14 сент. 2019 г.). В 2 ч. Ч. 2 / Ин-т природопользования НАН Беларуси; Брест. гос. ун-т им. А.С. Пушкина; Брест. гос. техн. ун-т; редкол.: А.К. Карабанов, М.А. Богдасаров, А. А. Волчек. Брест: БрГУ, 2019. С. 222–225.
3. 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.
4. Соколов А.Н., Чубаренко Б.В., Карманов К.В. Гидродинамические условия в береговой зоне Балтийской/Вислинской косы и Самбийского полуострова: шторм января 2012 г. // Известия КГТУ. 2016. № 43. С. 67–77.
5. Esiukova E., Chubarenko B., Simon F.-G. Debris of geosynthetic materials on the shore of South-Eastern Baltic (Kaliningrad Oblast, Russian Federation) // Proc. of 7th IEEE/OES Baltic Symposium “Clean and Safe Baltic Sea and Energy Security for the Baltic countries” (12–15 June 2018, Klaipėda, Lithuania). IEEE Xplore Digital Library, 2018. P. 1–6. <https://doi.org/10.1109/BALTIC.2018.8634842>.
6. Karmanov K.V., Burnashov E.M., Chubarenko B.V. Contemporary dynamics of the sea shore of Kaliningrad Oblast // Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics. 2018. Vol. 65 (2). P. 143–159. DOI: 10.1515/heem-2018-0010.