УДК 004.942

ВЛИЯНИЕ БИООБРАСТАНИЯ НА ТРАЕКТОРИИ ЛАГРАНЖЕВЫХ ТРАССЕРОВ В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ

А. Н. Соколов [1, 2]

[1] Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия, tengritag@gmail.com
[2] Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия, ansokolov@kantiana.ru

Ключевые слова: *пластик, биообрастание, математическое моделирование, лагранжевы трассеры, Балтийское море*

INFLUENCE OF BIOFOULING ON THE TRAJECTORIES OF LAGRANGIAN TRACERS IN THE BALTIC SEA

A. N. Sokolov [1, 2]

[1] Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia, tengritag@gmail.com
[2] Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia, ansokolov@kantiana.ru

Keywords: *plastic, biofouling, mathematical modeling, Lagrangian tracers, Baltic Sea*

Берегозащитные сооружения, находящиеся вблизи уреза, могут подвергаться разрушительному воздействию волн. К таким сооружениям относятся, в частности, габионные конструкции в районе г. Светлогорска Калининградской области. Металлическая сетка, удерживающая камни, постепенно перетирается. Разрушается и покрывающая сетку защитная пластиковая оболочка [Scholz et al., 2021] (оплетка). Фрагменты оплетки, обычно имеющие длину несколько сантиметров [Chubarenko et al., 2022], уносятся штормовыми волнами в море и под действием течений могут переноситься на значительные расстояния. Изначально фрагменты пластика имеют положительную плавучесть, но со временем, особенно в летние месяцы, может происходить их биообрастание и плавучесть становится отрицательной. Изменение плавучести должно сказываться на траекториях движения частиц пластика и расстоянии, на которое они могут удалиться от источника загрязнений.

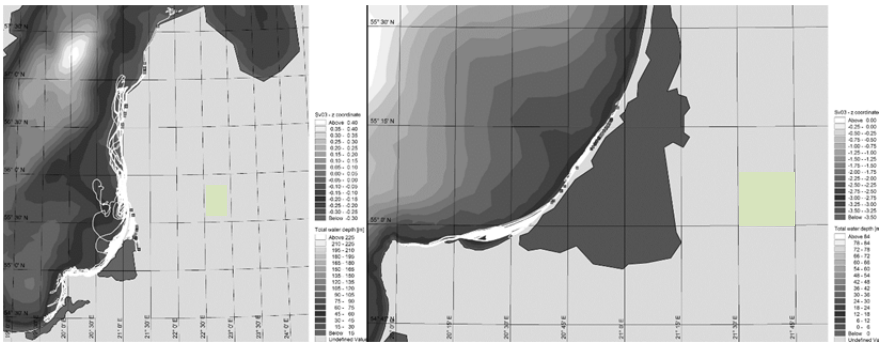
Цель исследования заключалась в оценке влияния биообрастания на траектории фрагментов оплетки. Исследование производилось методом математического моделирования с использованием программного комплекса MIKE by DHI (*mike*). Расчетная область охватывала все Балтийское море. Расчет гидродинамики производился в трехмерной постановке: 10σ + 10z-слоев, где σ — слои до изобаты 20 м. Показатели атмосферного воздействия (скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью моря и атмосферное давление) извлекались из базы данных реанализа Era-Interim (https://www.ecmwf.int/en/fore

casts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim) с шагом по широте и долготе в 1°, а по времени — 6 ч. Учитывался сток основных рек, впадающих в Балтийское море, в предположении, что расходы всех рек постоянны.

Поскольку для разрушения берегозащитных сооружений нужны штормовые условия с *достаточно высоким* подъемом уровня моря, моделирование проводилось в два этапа. На первом этапе в максимально упрощенном 2D-режиме определялись периоды времени, когда подъем уровня в районе Светлогорской бухты был *достаточно большой*. На втором производился расчет траекторий лагранжевых трассеров уже в полной постановке (3D + реки), причем трассеры выпускались из источника «Светлогорск» только в те моменты времени, которые были определены на первом этапе.

Принципиальная сложность при моделировании второго этапа: нужно было задать зависимость скорости осаждения от времени для каждой частицы в явном виде. Для сравнения поведения лагранжевых трассеров с учетом и без учета биообрастания было решено выполнить два годовых расчета поведения лагранжевых трассеров в полной постановке. Очевидно, что скорость биообрастания фрагментов оплетки в условиях Балтийского моря должна существенно зависеть от времени года. Согласно натурным экспериментам [Grzegorczyk et al., 2018], проведенным в Гданьском заливе, в ноябре-декабре биообрастание пластика ничтожно. В представляемых расчетах предполагалось, что частицы (фрагменты оплетки), выпущенные из источника «Светлогорск» в морскую среду в январе, ноябре и декабре, биообрастанию не подвергаются и, соответственно, имеют постоянную положительную плавучесть. Для частиц (фрагментов оплетки), выпущенных в морскую среду в другие месяцы, толщина слоя водорослей для модельных экспериментов по влиянию биообрастания и, соответственно, скорость осаждения/всплытия вычислялись по методике, основанной на работе [Kooi et al., 2017].

Численные эксперименты показали (см. рис.), что биообрастание существенно сужает ареал распространения фрагментов оплетки.



а *б*

Рис. Траектории частиц, выпущенных из источника «Светлогорск» в марте 2017 г.:
а — биообрастание не учитывалось; *б* — биообрастание учитывалось

Fig. Trajectories of particles released from the Svetlogorsk source during March 2017:
а — biofouling was not taken into account; *б* — biofouling was taken into account

Траектории практически всех частиц с биообрастанием (выпущенных в весенние и летние месяцы) локализуются в районе Самбийского полуострова и Куршской косы, то есть частицы могут переместиться от источника в районе Светлогорска не более чем на несколько десятков километров. В то же время частицы, не покрытые водорослями, могут достигать Рижского залива, то есть перемещаться на многие сотни километров.

Создание расчетной сетки, проведение моделирования и обработка данных выполнялись в рамках госзадания ИО РАН (тема № FMWE-2021-0012). Анализ, интерпретация и представление результатов были поддержаны проектом РФФИ № 18-55-76002 (ERA.net RUS EI-GEO).

Список литературы

Chubarenko B., Kileso A., Esiukova E. et al. Dataset on geosynthetic material debris contamination of the South-East Baltic shore // Data in Brief. 2022. Vol. 40. P. 107778. doi: 10.1016/j.dib.2021.107778.

Grzegorczyk M., Pogorzelski S.J., Pospiech A., Boniewicz-Szmyt K. Monitoring of Marine Biofilm Formation Dynamics at Submerged Solid Surfaces With Multitechnique Sensors // Front. Mar. Sci. 2018. № 5. P. 363. doi: 10.3389/fmars.2018.00363.

Kooi M., Nes E.H. van, Scheffer M., Koelmans A.A. Ups and Downs in the Ocean: Effects of Biofouling on Vertical Transport of Microplastics // Environmental Science and Technology. 2017. June. https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04702.

Scholz P., Putna-Nimane I., Barda I. et al. Environmental Impact of Geosynthetics in Coastal Protection // Materials (MDPI). 2021. № 14. P. 634. https://doi.org/10.3390/ma14030634.