УДК 551.465.4

ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ МОДЕЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ NEMO

В. Т. Пака, А. О. Корж

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия, vpaka@mail.ru, ao.korzh@yandex.ru

Ключевые слова: *прибрежные течения, инклинометр, моделирование, верификация*

EVALUATION OF INFORMATIVITY OF NEMO-BASED MODEL CALCULATION

V. T. Paka, A. O. Korzh

Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia, vpaka@mail.ru, ao.korzh@yandex.ru

Keywords: *coastal current, tilt current meter, modelling, verification*

Мониторинг прибрежных течений может быть эффективным, если сеть мониторинговых станций достаточно густа и охватывает все разнообразие условий актуальной зоны, а станции сохраняют работоспособность при любых погодных условиях. Практическая реализация такой сети возможна с помощью малобюджетных инклинометрических измерителей скорости течений на донных и буйковых станциях. При этом не требуются стационарные гидротехнические сооружения, то есть можно создавать мобильную систему, обновляемую без капитальных затрат в случае выхода из строя некоторой части ее элементов. Еще большую эффективность обеспечивает сочетание прямых измерений с данными оперативного моделирования циркуляции. В открытом доступе 15-минутные, ежечасные и ежедневные данные анализа (несколько лет) и прогноза (6 дней от н. в.) горизонтальной скорости (https://resources.marine.copernicus.eu/product-detail/BALTICSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_003_006/ INFORMATION), полученные с использованием модели NEMO 4.0. Пространственная дискретность 1 морская миля, по вертикали массив содержит 56 горизонтов.

Для верификации модельных расчетов были использованы измерения течений с помощью расположенного на дне акустического профилографа RDCP 600 в точке вблизи оконечности Балтийской косы на глубине 15 м на участке с достаточно ровным рельефом дна. На рисунке 1 усредненные методом скользящего среднего с окном около часа графики модуля горизонтальной скорости течения на расстояниях от дна 2, 6, 10 и 14 м в период с 28.11.2021 по 07.12.2021 сопоставлены с модельными ежечасными данными течения на глубине 8 м в узле сетки, ближайшей к точке расположения RDCP: ее глубина 13 м и расстояние до станции 800 м.

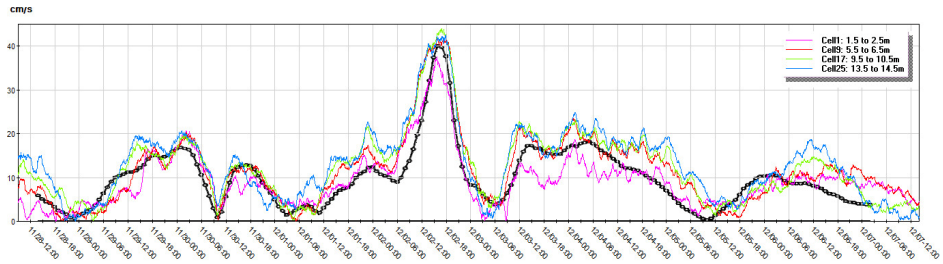


Рис. 1. Сравнение измеренных (тонкие цветные линии)
и расчетных (черная жирная линия) скоростей течения

Fig. 1. Comparison of measured (thin colored lines)
and calculated (black bold line) flow velocities

Сравнение измеренных и модельных значений модуля скорости течения свидетельствует о достоверности расчета. С учетом этого рассмотрено моделирование течения в зоне, представленной на рисунке 2, где красной линией показано расположение разреза. Точки разреза выбирались из узлов модельной сетки, ближайших к изобате 20 м. Протяженность разреза, расположение которого представлено на рисунке 1, составляет около 250 км.

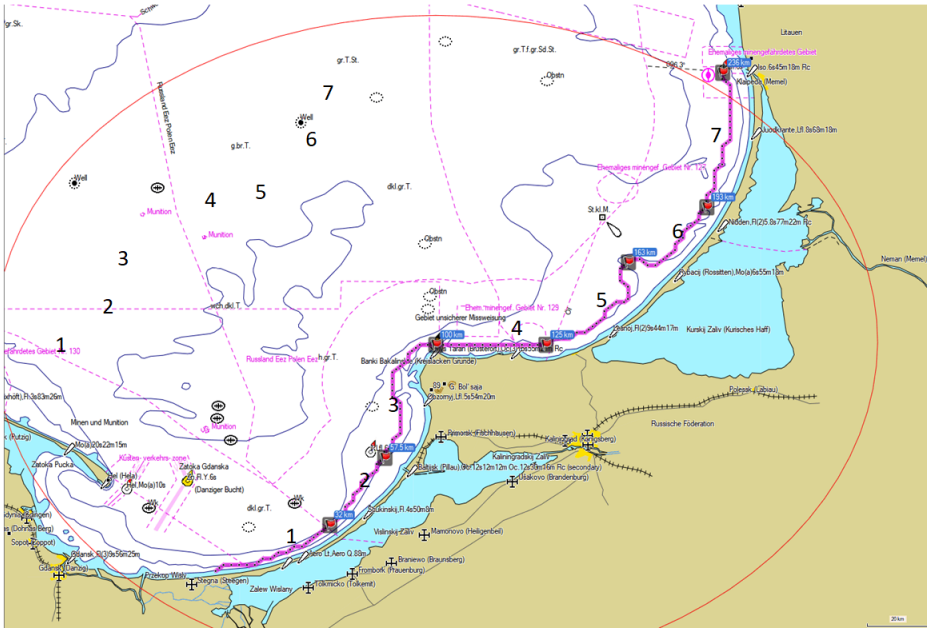


Рис. 2. Зона моделирования течений. Красная жирная линия — разрез по изобате 20 м.
Участки разреза пронумерованы (1—5)

Fig. 2. Flow modeling zone. The bold red line is the transect along the 20 m isobath.
Section fragments are numbered (1—5)

Разрез (рис. 3) демонстрирует вертикальную структуру среднесуточного прибрежного течения. Участки разреза пронумерованы. Для примера изменчивости прибрежной динамики выбраны дни 01.12.2021 г. с умеренным нагонным СЗ ветром и 02.12.2021 г. с штормовым вдольбереговым ЮЗ ветром. При нагонном ветре на 7-м участке (северная часть Куршкой косы) наблюдается конвергенция, а на 1-м участке (южный берег Гданьского залива) — замирание придонного течения. При сильном вдольбереговом ветре течение на всем участке побережья направлено вдоль берега, но особенность на его начальном участке сохраняется. По-видимому, режим вдольберегового течения в западной половине залива связан с наличием косы Хель и приуроченной к ней струей затокового течения из Слупского желоба, достигающей южного берега Гданьского залива и отворачивающей на СВ. Вблизи мыса Таран (3-й участок) струя эпизодически ускоряется и резко меняет направление, в то время как направление среднего ветра сохраняется.

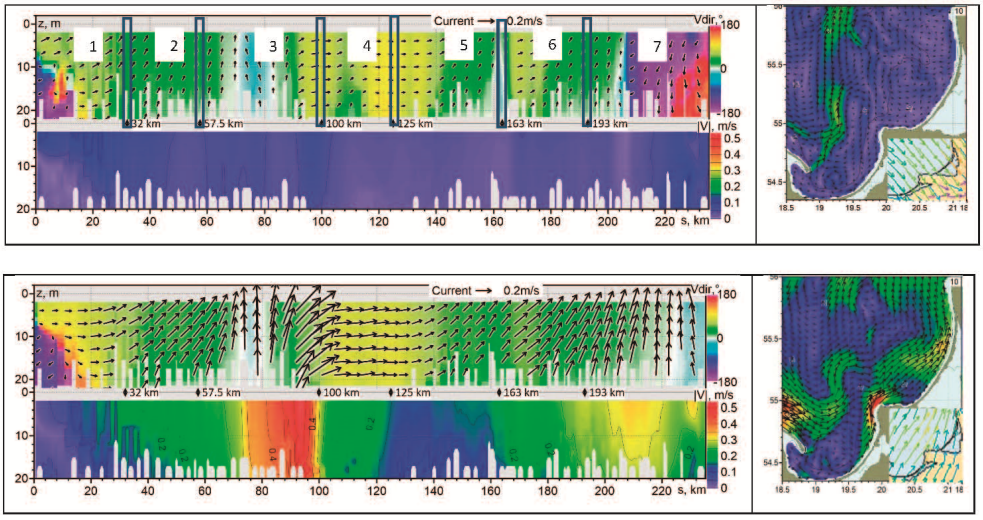


Рис. 3. Данные моделирования 1—2 декабря 2021 г.

Fig. 3. Model data for December 1—2, 2021

Таким образом, модель показывает, что изменчивость прибрежного течения далеко не всегда определяется локальным ветром. Не менее, если не более проявляется влияние когерентных динамических структур типа струй и вихрей, формирующихся в открытом море под воздействием конфигурации береговой черты и рельефа дна всего бассейна. Активизируют динамику течений коса Хель, мыс Таран в СЗ части Самбийского полуострова и, что редко отмечается, поднятие дна вблизи средней части Куршской косы.

Работа выполнена при поддержке госзадания (тема № FMWE-2021-0012) и гранта РФФИ (тема 19-05-00962).

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.

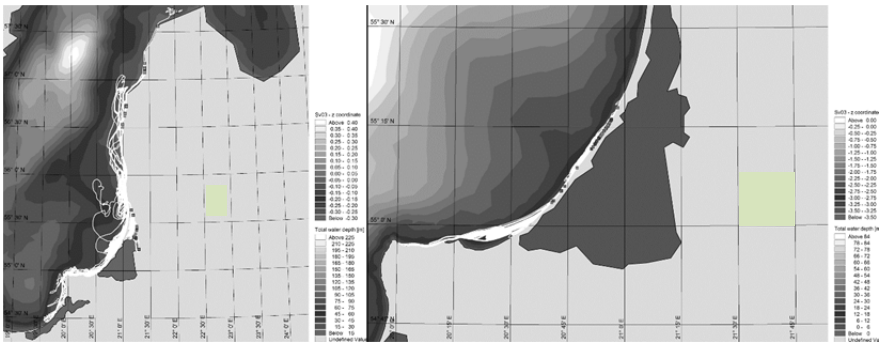
Цель исследования заключалась в оценке влияния биообрастания на траектории фрагментов оплетки. Исследование производилось методом математического моделирования с использованием программного комплекса MIKE by DHI (*mike*). Расчетная область охватывала все Балтийское море. Расчет гидродинамики производился 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.