РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ ПРОГНОЗ ПОЛЯ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ

Журбас В.М.¹, Вяли Г.², Лаврова О.Ю.³

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 117997, г. Москва,
Нахимовский проспект, д. 36, +7 499124-6396, e-mail: zhurbas@ocean.ru

²Институт морских систем, Таллинский технический университет
e-mail: Germo.Vali@ttu.ee

³Институт космических исследований РАН
e-mail: olga-yu-lavrova@mail.ru

A possibility to hindcast mesoscale eddies field in a shallow coastal sea is considered using an eddy-resolving ocean model without data assimilation. The approach is based on an assumption that time and place of eddy generation can be predicted with reasonable probability from bottom topography/shoreline features and atmospheric forcing history. To simulate mesoscale eddy field in the southeast Baltic Sea, a 0.125 N.M. grid numerical model was compiled based on GETM. Simulated mesoscale eddy patterns in the southeast Baltic Sea for the period of April-September 2015 showed a reasonable resemblance with remote sensing images available.

Весьма надежный прогноз погоды в первую очередь базируется на усвоении метеорологическими моделями огромного количества наблюдений, плотность которых настолько высока, что определяющие погоду мезомасштабные структуры – атмосферные фронты, циклоны и антициклоны, разрешаются самими наблюдениями. Это означает, что плотность наблюдений выше, чем одна станция на площадь L_R^2 , где L_R – бароклинный радиус деформации. В атмосфере типичное значение L_R равно 1000 км, и очевидно, что плотность усваиваемых метеорологических наблюдений выше, чем одна станция на площадь L_R^2 . В океане же бароклинный радиус деформации изменяется в пределах 10–100 км, и если в качестве типичного значения взять $L_R = 33$ км, то получится, что для столь же надежного прогноза «погоды» в океане, как прогноз погоды в атмосфере, плотность измерений в океане должна быть на три порядка (в 1000 раз!) выше, чем плотность метеонаблюдений. По этой причине традиционный для атмосферы подход невозможно реализовать для прогноза погоды в океане ни сейчас, ни в

обозримом будущем: наиболее продвинутая программа океанского мониторинга – ныряющие дрейтеры Argo в настоящее время обеспечивает среднюю плотность измерений примерно 1 дрейтер на 200×200 км², а для разрешения вихрей в океане нужна плотность не менее 1 дрейтер на 33×33 км², т.е. количество дрейтеров нужно увеличить в 36 раз относительно нынешних 3800.

Однако прогноз «погоды» в относительно мелких внутренних морях, где циркуляция вод сильно зависит от направления и силы ветра, а также от конфигурации береговой линии и топографии дна, таких как Балтийское море, представляется не столь уж безнадежным делом, поскольку процесс формирования мезомасштабных вихрей и фронтов здесь в определенной степени становится предсказуемым. Так, например, известно, что в случае вдольберегового ветра, благоприятного для прибрежного апвеллинга, за топографическими особенностями береговой линии-мысами и поднятиями дна формируются циклонические вихри, которые могут отрываться от мест формирования и путешествовать в открытом море [2, 3, 9]. Причем известно не только место вероятного формирования циклонического вихря, но и время – после кульминации апвеллинга, когда ветер начинает затухать [7]. Аналогично в случае вдольберегового ветра, благоприятного для прибрежного даунвеллинга, за топографическими особенностями береговой линии-мысами формируются антициклонические вихри. В случае Юго-Восточной Балтики, яркими особенностями береговой линии, за которыми формируются вихри, являются мыс Таран, Самбийское поднятие и коса-мыс Хель. Другим примером предсказуемого формирования циклонических вихрей в Юго-Восточной Балтике является район Слупского желоба: при северных и восточных ветрах в придонном слое желоба более соленая и плотная вода устремляется на восток, образуя гравитационное течение [5], над которым в самом желобе и восточнее его образуются циклонические вихри [8]. Таким образом, в силу вышеизложенных причин можно ожидать, что численная модель с высоким горизонтальным разрешением даже без усвоения данных способна описать основные черты поля реально существующих (наблюдаемых) мезомасштабных вихрей в относительно мелком закрытом море.

Для симуляции поля мезомасштабных вихрей в Юго-Восточной Балтике на базе GETM (General Estuarine Transport Model) была реализована региональная численная модель с горизонтальным разрешением 0.125 морской мили (232 м). В качестве начальных полей и условий на открытых границах использовались результаты модели Балтийского моря с более крупным шагом конечноразностной сетки в 0.5 морской

мили (926 м) [10], а атмосферное воздействие (потоки импульса, тепла и массы через поверхность моря) бралось из региональной модели прогноза погоды HIRLAM с шагом сетки 11 км [6]. Для идентификации мезомасштабных структур строились модельные карты температуры, солёности и скорости течений поверхностного слоя моря, а также карты перераспределения синтетических плавающих лагранжевых частиц-дрифтеров за период 1 суток с момента их однородного запуска. Моделировалось теплое полугодие 2015 г. с 1 апреля по 30 сентября, когда вследствие высоких контрастов температуры поверхности моря и цветения синезеленых водорослей, мезомасштабные структуры можно часто видеть на космических изображениях поверхности Балтийского моря в оптическом и инфракрасном диапазонах [1, 4]. Космические изображения брались с сайта <https://eos.com/landviewer/>.

Обнаружено, что наиболее яркие из мезомасштабных структур, видимых на космических изображениях поверхности Юго-Восточной Балтики, удастся вполне уверенно идентифицировать на модельных картах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гинзбург А.И., Крек Е.В., Костяной А.Г., Соловьев Д.М. Эволюция мезомасштабного антициклонического вихря и вихревых диполей/мультиполей на его основе в Юго-Восточной Балтике (спутниковая информация: май–июль 2015 г.) // Океанологические исследования. 2017. Т. 45. № 1. С. 10–22.
2. Елкин Д.Н., Зацепин А.Г. Лабораторное исследование механизма периодического вихреобразования за мысами в прибрежной зоне моря // Океанология. 2013. Т. 53. № 1. С. 29–41.
3. Журбас В.М., Кузьмина Н.П., Лыжков Д.А. Вихреобразование за мысом при генерации течения кратковременным воздействием вдольберегового ветра (численные эксперименты) // Океанология. 2017. Т. 57. № 3. 389–399.
4. Лаврова О.Ю., Краюшкин Е.В., Соловьев Д.М., Голенко М.Н., Голенко Н.Н., Калашникова Н.А., Демидов А.Н. Влияние ветрового воздействия и гидродинамических процессов на распространение вод Калининградского залива в акватории Балтийского моря // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 4. С. 76–99.
5. Krauss W., Brügge B. Wind-produced water exchange between the deep basins of the Baltic Sea // J. Phys. Oceanogr. 1991. Vol. 21. No. 3. P. 373–384.
6. Männik A., Merilain M. Verification of different precipitation forecasts during extended winter-season in Estonia // HIRLAM Newsletter. 2007. Vol. 52. P. 65–70.
7. Väli G., Zhurbas V., Lips U., Laanemets J. Submesoscale structures related to upwelling events in the Gulf of Finland, Baltic Sea (numerical experiments) // J. Marine Systems. 2017. No. 171(SI). P. 31–42.

8. Zhurbas V., Elken J, Paka V., Piechura J., Väli G., Chubarenko I., Golenko N., Shchuka S. Structure of unsteady overflow in the Słupsk Furrow of the Baltic Sea // J. Geophys. Res. Oceans. 2012. Vol. 117. No. C04027. P. 1–17.
9. Zhurbas V., Oh I.S., Park T. Formation and decay of a longshore baroclinic jet associated with transient coastal upwelling and downwelling: A numerical study with applications to the Baltic Sea // J. Geophys. Res. 2006. Vol. 111. No. C04014. P. 1–18.
10. Zhurbas V., Väli G. Golenko M., Paka,V. Variability of bottom friction velocity along the inflow water pathway in the Baltic Sea // J. Mar. Syst. 2018. Vol. 184. P. 50–58.