ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ТЕРМОХАЛИННОЙ СТРУКТУРЫ В ЗОНЕ СМЕШЕНИЯ АТЛАНТИЧЕСКОЙ И БЕЛОМОРСКОЙ ВОД В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ НА СЕТКЕ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

**Рябченко В.А., Дворников А.Ю., Ванкевич Р.Е.,
Софьина Е.В., Гавриков А.В.**

*Институт океанологии им.П.П.Шириова РАН,
Санкт-Петербург, 199034 Университетская набережная 5,
тел. +7 812 328-5759, e-mail: vla-ryabchenko@yandex.ru*

A high-resolution model for Arctic seas has been developed, based on the general ocean circulation model of the Massachusetts Institute of Technology (MITgcm). It is shown that the model simulates well the vertical thermohaline structure in the Barents Sea near the Kola Peninsula in August 2016.

Цель настоящей работы – разработка и верификация термогидродинамической модели арктического моря высокого разрешения, предназначенной для включения в региональную модель земной системы. В качестве основы региональной модели была выбрана модель общей циркуляции Массачусетского Технологического Института (MITgcm – Massachusetts Institute of Technology general circulation model) [1], предлагающая гидростатическое, квазинегидростатическое и негидростатическое решения и использующая z -координату, которая лучше (по сравнению с изопикническими и σ -моделями) описывает процессы в верхнем деятельном слое океана [2].

Модель использована для воспроизведения циркуляции в районе проведения экспедиции с участием сотрудников СПб Филиала ИО РАН в Баренцевом море в августе 2016 г. Для восстановления состояния приземной атмосферы со сверхвысоким разрешением использовалась негидростатическая высокоразрешающая атмосферная модель WRF (Weather Research and Forecasting), реализованная на вложенных сетках с разрешением 3 км над Баренцевым морем и районом проведения экспедиции. Условия на открытых границах Баренцева моря, а также начальные условия брались из расчетов по региональной модели всего Арктического бассейна, имеющей разрешение 4 морские мили. Гидродинамическая модель Баренцева моря реализована на ортогональной сетке с переменным пространственным шагом,

меняющимся от 366 до 3015 м, в районе полигона горизонтальное разрешение составляет около 800 м. Модель имеет 34 уровня по вертикали, расстояние между уровнями увеличивается с глубиной, в верхнем 120-метровом слое оно составляет от 3 до 10 м. При построении поля глубин модельной области использовано поле глубин Баренцева моря высокого разрешения (500 м), подготовленное в Лаборатории сейсмостратиграфии Института океанологии РАН. Учет приливов осуществлялся через задание характеристик приливов на открытой границе моря. Речной сток задавался по климатическим средним месячным значениям расхода крупных рек.

Эта модель с указанной выше входной информацией была использована для расчетов циркуляции Баренцева моря в августе 2016 г. В дальнейшем рассматриваются две полигонные съемки (8–9 августа и 22–23 августа 2016 г.) в одном и том же районе вблизи Кольского полуострова. Согласно полученному решению, в рассматриваемом районе 8–9 августа в горизонтальных полях температуры и солености отчетливо проявляются вихревые структуры и фронтальная зона – результат столкновения атлантических и беломорских вод. Термоклин и галоклин, как правило, располагаются на глубине около 10 м. Зоны пониженной температуры и солености в верхнем перемешанном слое хорошо коррелируют с положением меандров. Картина вихрей на поверхности моря заметно меняется в период от 8 до 22 августа и 22 августа становится более «размытой». Отметим, что узкая прибрежная полоса пониженной температуры отмечается в оба рассматриваемых отрезка времени, тогда как пониженная соленость в этой области, отмечаемая 8-ого августа, 22-ого августа сменяется полосой повышенной солености.

Сравнение спутниковой и модельной температуры поверхности моря (ТПМ) для юго-западной части Баренцева моря показало, что модель в целом качественно правильно воспроизводит наблюдаемые особенности ТПМ в рассматриваемый период как в области в целом, так и в районе полигона. Наибольшие расхождения отмечаются на границе модельной области с Белым морем, где модель заметно занижает наблюдаемую температуру.

Верификация модели осуществлена путем сравнения результатов моделирования с данными наблюдений, полученными 8–9 августа и 22–23 августа 2016 г. Во время съемок были измерены вертикальные профили температуры и солености с разрешением 1 м на станциях, расположенных на расстоянии ~5 миль друг от друга с временным интервалом между последовательными станциями около 1 часа. Осредненные по

всем станциям вертикальные профили температуры и солёности морской воды по данным наблюдений и модельным результатам демонстрируют хорошее соответствие в поверхностном слое моря на обеих полигонных

Рис. 1. Вертикальные профили средней абсолютной ошибки расчетов для температуры (красная кривая) и солёности (синяя кривая), нормированной на стандартное отклонение наблюдаемой величины, (а) – 1-я и (б) – 2-я съемка.

съемках (рис.1). Заметные различия наблюдаются в глубинном слое, где «модель» холоднее на 2–2.5 °С и солёнее на 0.2‰.

В качестве критерия верификации модели была принята средняя абсолютная ошибка, нормированная на стандартное отклонение наблюдаемой величины (mean absolute error, MAE). При значениях $MAE > MAE_{cr} = 2$ считается, что модель воспроизводит термохалинную структуру в районе полигона неудовлетворительно. В противном случае, т.е. при $MAE \leq MAE_{cr}$ согласие между моделью и данными наблюдений считается удовлетворительным. Вертикальные профили MAE показали, что $MAE < MAE_{cr}$ по всей водной толще, а максимальные значения MAE для температуры и солёности, превышающие 1, наблюдаются в слое скачка и глубинном слое. Средние значения MAE по всей водной толще

составляют 0.89 и 0.79 на первом полигоне и 0.85 и 0.87 – на втором соответственно для температуры и солёности.

Спектральный анализ модельных значений температуры и солёности, взятых с дискретностью 1 мин. (временной шаг модели) для периодов 8–10 и 22–24 августа 2016 г. был выполнен для горизонтального расчетного узла, близкого к центру полигона, на каждом вертикальном расчетном уровне. Предварительно из анализируемых рядов была удалена длинно-периодная составляющая. Максимальные значения амплитуд колебаний не превышали 0.5°C для температуры и 0.05‰ для солёности и соответствовали приливному полусуточному или суточному периодам. Помимо ожидаемых повышений спектральной плотности на приливных периодах, наблюдаются также пики на периодах 4–4.5, 6 и 8 часов с амплитудами, не превышающими 0.2°C и 0.02‰ для температуры и солёности, соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Marshall J., Adcroft A., Hill C., Perelman L., and Heisey C. A finite-volume, incompressible Navier-Stokes model for studies of the ocean on parallel computers // J. Geophys. Res. 1997. Vol. 102(C3). P. 5753–5766.
2. Griffies S.M. Developments in ocean climate modeling // Ocean modeling. 2000. Vol. 2. P. 123–192.