СИСТЕМА УСВОЕНИЯ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ

Реснянский Ю.Д., Струков Б.С., Зеленко А.А.

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ, Большой
Предтеченский переулок, 11-13, 123242, г. Москва,
тел. +7 499 795-2227, e-mail: reshn@mecom.ru*

The report presents basic information about the ocean data assimilation system being developed at the Hydrometeorological Centre of Russia. The discussed issues are: computational model, observational data, method of their analysis, precision indicators.

Представлена новая версия системы усвоения океанографических данных (СУОД), разрабатываемая в Гидрометцентре России и предназначенная для работы в оперативном режиме. Структура программного кода прежних версий системы, в которой использовалась модель общей циркуляции океана с географической системой координат, не позволяла, однако, включить в расчетную область приполярную зону к северу от 80°с.ш. А условие жесткой крышки, используемое в океанской модели [1, 2], не давало возможности явно рассчитывать изменения уровня океана – одной из важных переменных, характеризующей динамику океана и поддающейся корректировке в ходе усвоения имеющихся альтиметрических данных.

Поэтому при создании следующей версии СУОД было принято решение в качестве прогностической модели использовать одну из наиболее активно развивающихся моделей общей циркуляции океана – модель NEMO [3] в конфигурации ORCA1 с включенной в нее моделью морского льда LIM3. В этой конфигурации расчеты осуществляются на трехполосной сетке, имеющей разрешение 1°×1° в средних широтах и особым расположением узлов в северной приполярной области, где горизонтальное разрешение составляет ≈50 км.

В предварительных численных экспериментах по настройке параметров модели атмосферные воздействия задавались по данным DFS5.2 (DRAKKAR Forcing Set version 5.2) за период 2001–2014 гг. Усваиваемые данные включали в себя измерения вертикальных распределений температуры и солёности воды профилирующими буями Арго, получа-

емые путем альтиметрических измерений аномалии уровня моря, сеточные данные о температуре поверхности океана и данные о сплоченности морского льда, распространяемые французским центром IFREMER.

Усвоение данных осуществляется в СУОД по циклической схеме «анализ–прогноз–анализ» в одноэлементном ее варианте, в котором последовательно усваивается информация по вертикальным распределениям температуры и солености воды, уровню моря, сплоченности морского льда и температуре поверхности океана (ТПО) без непосредственного учета их связей между собой и с другими элементами. Такая связь устанавливается лишь опосредовано, через взаимозависимость различных переменных в расчетной модели.

Для температуры и солености анализ проводится с использованием трехмерной вариационной схемы 3D-Var на регулярной 1-градусной сетке на 21 модельном уровне от 10 м до 1400 м. Пространственные ковариации поля ошибок первого приближения, являющиеся ключевым элементом вариационного анализа, задаются обобщенной на пространственный случай моделью авторегрессии и скользящего среднего (ARCC) – ПАРСС [4].

Усвоение данных по уровню моря и сплоченности морского льда и ТПО выполняется по релаксационной схеме, в которой в качестве наблюдений используются двумерные сеточные поля этих элементов. Релаксационная схема усвоения данных по сплоченности морского льда дополнена специальной процедурой перераспределения инкрементов анализа между несколькими градациями толщин льда, для которых отсутствуют данные непосредственных наблюдений.

Период цикла усвоения может варьироваться от 1 до 10 суток. Инкременты анализа, получаемые в результате минимизации целевой функции, представляют собой поправки, которые в последовательной циклической схеме следует добавить к модельным полям. Эти поправки вводятся с использованием метода дробных инкрементов (IAU – Incremental Analysis Updates) в ходе повторного интегрирования модели от начальных условий с предыдущего цикла усвоения.

Настройка параметров системы усвоения осуществлялась на основе серии численных экспериментов, в которых варьировалась длина окна усвоения данных, проверялись различные варианты контроля данных наблюдений, вводились поправки к поверхностному потоку тепла, зависящие от наблюдаемой температуры поверхности океана.

Зависимость результатов усвоения от длины окна накопления данных иллюстрируется рис. 1, на котором показаны вертикальные распределения средних и среднеквадратичных отклонений температуры воды

Рис. 1. Вертикальные распределения глобально осредненных средних (сплошные кривые) и среднеквадратичных (пунктирные кривые) отклонений результатов расчета температуры воды ($^{\circ}\text{C}$) от непосредственных наблюдений в различных экспериментах: 1 – без усвоения данных, 2 – с окном усвоения 1 сутки, 3 – с окном усвоения 10 суток, 4 – при задании климатических распределений.

по всей глобальной области с разными окнами накопления в сравнении с базовым экспериментом и с оценками по климатическим данным.

Как видно из рисунка, усвоение данных обеспечивает существенное уточнение оценок состояния океана как по отношению к базовому эксперименту со свободным интегрированием модели, так и по отношению к оценкам с использованием одних лишь климатических данных.

Согласие расчетных данных по характеристикам ледового покрова с непосредственными наблюдениями улучшается и при усвоении данных

Рис 2. Изменения площади морских льдов в Арктике (а) и в Антарктике (б) в период 2002–2014 гг. по данным наблюдений (фиолетовые линии) и в численных экспериментах с усвоением данных о сплоченности ледяного покрова (желтые линии) и без такого усвоения (голубые линии).

по сплоченности морского льда (рис. 2). Наибольшие расхождения отмечаются в периоды минимальных значений площадей льдов.

По результатам анализа настроечных численных экспериментов сформирована оперативная версия СУОД. В этой версии усвоение осуществляется с 1-суточным временным окном, позволяющим поддерживать ежедневный выпуск продукции. Эта версия с атмосферным форсингом CFS Национальных центров прогнозов окружающей среды США функционирует с октября 2016 г.

На следующем этапе развития СУОД планируется усовершенствовать схему анализа, в которой будут учтены взаимосвязи между сбалансированными частями анализируемых полей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленько А.А., Реснянский Ю.Д., Цырульников М.Д., Струков Б.С., Свиренко П.И. Глобальная система усвоения океанографических данных: Пилотная версия // Труды VI Российской научно-технической конференции «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии» («НО-2007»), 23–25 мая 2007 г. Санкт-Петербург: 2007. С. 464–473.
2. Зеленько А.А., Реснянский Ю.Д., Цырульников М.Д., Струков Б.С., Свиренко П.И. Мониторинг крупномасштабной структуры гидрофизических полей океана // В кн.: Современные проблемы динамики океана и атмосферы. М.: Триада ЛТД. 2010. С. 131–172.
3. Madec G., and the NEMO team. NEMO ocean engine. Note du Pôle de modélisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France, No 27. 2015. ISSN No 1288–1619. P. 391.
4. Цырульников М.Д., Свиренко П.И., Горин В.Е., Горбунов М.Е., Климова Е.Г. Разработка схемы трёхмерного вариационного усвоения данных в Гидрометцентре России // В кн.: 80 лет Гидрометцентру России. М.: ТРИАДА ЛТД. 2010. С. 21–35.