



М.Н. Кауркин, Р.А. Ибраев, К.П. Беляев,
Н.П. Тучкова

**Параллельный сервис усвоения
данных наблюдений в
гидродинамическую модель высокого
разрешения**

Рекомендуемая форма библиографической ссылки

Кауркин М.Н., Ибраев Р.А., Беляев К.П., Тучкова Н.П. Параллельный сервис усвоения данных наблюдений в гидродинамическую модель высокого разрешения // Научный сервис в сети Интернет: труды XVIII Всероссийской научной конференции (19-24 сентября 2016 г., г. Новороссийск). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2016. — С. 188-193. — doi:[10.20948/abrau-2016-6](https://doi.org/10.20948/abrau-2016-6)

Размещена также [презентация к докладу](#)

Параллельный сервис усвоения данных наблюдений в гидродинамическую модель высокого разрешения

М.Н. Кауркин¹, Р.А. Ибраев¹, К.П. Беляев^{2,3}, Н.П. Тучкова³

¹Институт вычислительной математики РАН

²Институт океанологии им. П.П. Shirshova РАН

³Вычислительный центр им. А.А. Дородницына ФИЦ ИУ РАН

Аннотация. Предлагается параллельная реализация упрощенного метода ансамблевых фильтров Калмана (EnKF) для усвоения данных дрейфтеров международного проекта по мониторингу состояния океана ARGO в модель Мирового океана IBM-ИО с разрешением $1/10^\circ$ по горизонтали и 49 уровнями по вертикали для коррекции модельных расчётов данными измерений. Сравниваются результаты численных экспериментов в Северной Атлантике методом ансамблевой оптимальной интерполяции (EnOI) и методом стандартной оптимальной интерполяции (MVOI). Приведены результаты чувствительности ошибки усвоения методом EnKF от количества элементов ансамбля. Подтверждена и оценена количественно эффективность реализованного метода перед используемой ранее оптимальной интерполяцией.

Ключевые слова: методы усвоения данных, ансамблевый фильтр Калмана, модель динамики океана, параллельный алгоритм ассимиляции данных.

1. Введение

Современное состояние систем прогноза погоды и климата Земли таковы, что возможны реализации моделей высокого и сверхвысокого разрешения с усвоением непрерывно поступающих данных наблюдений. Разрабатываемые в ведущих мировых прогностических центрах модели Мирового океана сверхвысокого пространственного разрешения с усвоением непрерывно поступающих данных наблюдений позволяют осуществлять оперативный прогноз трёхмерного состояния морской среды, аналогичный метеорологическим прогнозам погоды, а также являются важной составляющей в численных исследованиях изменения климата и системах мониторинга состояния окружающей среды.

Решение данной задачи невозможно без использования технологий распределенных вычислений в силу огромного объема получаемой и обрабатываемой информации. Количество ресурсов, необходимых для выполнения оперативных расчётов на основе моделей высокого пространственного разрешения, исчисляется сегодня $10^2 - 10^3$ вычислительных ядер для краткосрочных прогнозов и $10^4 - 10^5$ – для средне- и долгосрочных.

Уже сейчас доступны спутниковые данные наблюдений за поверхностной температурой и уровнем с разрешением 1 км (спутник [Aqua](#) проекта NASA EOS). Это соответствует поступлению примерно 10 Гб информации за одни сутки. И важно эту информацию правильно и быстро использовать (усвоить в расчетную модель), особенно в перспективе, когда пространственное разрешение глобальных моделей океана станет порядка километра.

Существенный прогресс, достигнутый в последние десятилетия, в значительной степени связан со стартовавшим в 1997 г. проектом GODAE (Global Ocean Data Assimilation Experiment, <http://www.godae.org/>) и последовавшим за ним в 2008 г. проектом GODAE OceanView (<https://www.godae-oceanview.org>). В настоящее время существует несколько алгоритмов усвоения данных, которые применяются в задачах прогноза погоды и в оперативной океанологии (см. обзор в GODAE, 2012). Используемые подходы можно разделить на вариационные (3D-Var, 4D-Var) и динамико-стохастические (преимущественно ансамблевые фильтры Калмана, EnKF). В последнее время были предложены гибридные схемы усвоения, основанные на синтезе 3D-Var и EnKF.

Цель данной работы заключается в реализации алгоритма EnKF в модели динамики океана ИВМ-ИО высокого пространственного разрешения на массивно-параллельных компьютерах с распределенной памятью для задачи усвоения данных наблюдений глобального международного проекта ARGO (<http://www.argo.net>), в Северной Атлантике на основе методов, изложенных в работах [1-3]. В рамках этого проекта с 2000 года аккумулируются океанографические данные с более, чем 3000 дрейфующих в океане буев (см. рис. 1)

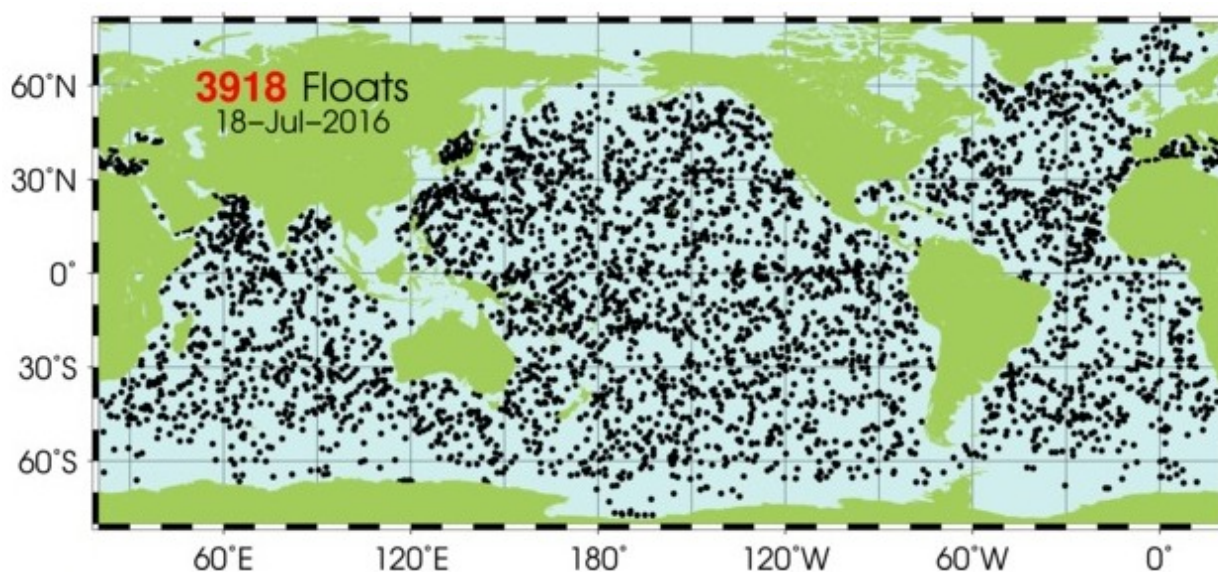


Рис. 1. Карта распределения буев международного проекта ARGO (18.07.2016)

Данные наблюдений ARGO хранятся NetCDF формате и доступны научному сообществу для зарегистрированных пользователей на сайте проекта (http://www.argo.ucsd.edu/Data_viewers.html#).

2. Реализация усвоения для региона Атлантики

Для тестирования реализованного сервиса DAS была взята область Северной Атлантики с границами от 33° ю.ш. до 67° с.ш., на которых задано условие Дирихле. Перенос через Гибралтарский пролив не учитывался. Модель Северной Атлантики интегрировалась во времени с нулевых начальных скоростей и климатических распределений температуры и солености WOA 2009 (World Ocean Atlas https://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOA09/pr_woa09.html).

Был выбран расчетный период с 01.01.1948 по 01.05.2008 и выполнен атмосферный форсинг с данными CORE-IAFv2 за соответствующий период времени (<http://data1.gfdl.noaa.gov/nomads/forms/core/COREv2.html>).

Были проведены три эксперимента с атмосферным воздействием, соответствующим периоду с 01.05.2008 по 01.07.2008. Эксперимент A01 — контрольный эксперимент. Модельное решение ежедневно сравнивается с данными дрейфтеров ARGO. Усвоение данных не происходит. Эксперимент A02 — эксперимент с усвоением методом EnKF. Модельное решение ежедневно сравнивается и корректируется данными ARGO. Эксперимент A03 — эксперимент с усвоением методом объективного анализа. Модельное решение ежедневно сравнивается и корректируется данными дрейфтеров ARGO.

Важной особенностью разработанной параллельной реализации является то, что усвоение данных вынесено в отдельный сервис (DAS), работающий на выделенных вычислительных ядрах, отдельно от модели океана. Это позволило лучше структурировать систему совместного моделирования, где в каждом компоненте решается своя задача, и выделить значительный объем памяти, необходимый для ковариационной матрицы, вычисляемой в процессе усвоения. Данные из модели океана поступают в блок усвоения, который использует собственную процессорную декомпозицию области, что важно, поскольку размер трехмерных массивов состояния для модели океана с разрешением 0.1° составляет несколько Гб. Благодаря эффективной реализации метода усвоение 10⁴ точек наблюдения на 16 процессорных ядрах занимает около 20 секунд реального времени вместо 5 минут на одном ядре, что было бы сравнимо со временем расчета суточного модельного прогноза.

На рис.2 показана разница для стандартного отклонения температуры (модель минус наблюдения) для методов EnKF, MVOI и контрольного расчета.

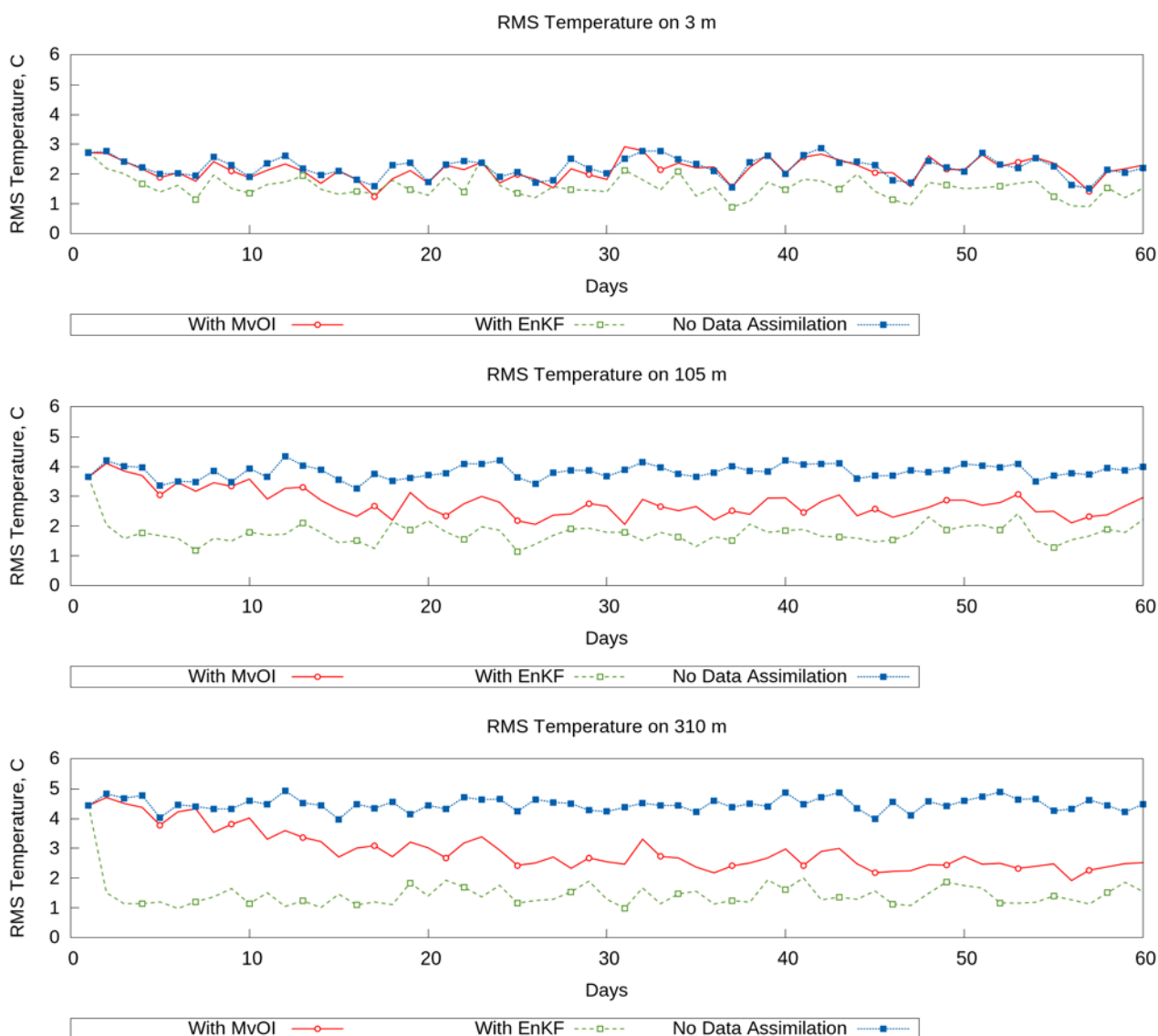


Рис. 2. Стандартное отклонение температуры (модель минус наблюдения) экспериментов A01, A02, A03

Еще одна иллюстрация применения алгоритма продемонстрирована на рис. 3 с экспериментами Эксп.А и Эксп.Б.

Эксп.А — базовый эксперимент. Модельное решение ежедневно сравнивается с данными буев ARGO.

Эксп.Б — эксперимент с усвоением. Модельное решение ежедневно корректируется и сравнивается с данными буев ARGO.

Оба эксперимента начинаются с одной и той же контрольной точки (начального условия), полученной после разгона модели, и продолжаются в течение трех месяцев.

Данные для усвоения — это данные дрейфтеров ARGO о температуре и солености на глубине до 1500 м, около 60 профилей в сутки. Усваиваемые

данные усредняются за сутки. Каждый дрейфтер выдает данные раз в 10 суток с дискретностью по вертикали от 5 до 50 метров.

В обоих экспериментах модельное решение ежедневно сравнивается с данными температуры поверхности океана (ТРО) полученными со спутника NASA Aqua satellite, но усвоение этих данных не производится.

Результаты экспериментов представлены на рис. 3. Показаны температура поверхности океана (ТРО) в базовом эксперименте и эксперименте с усвоением.

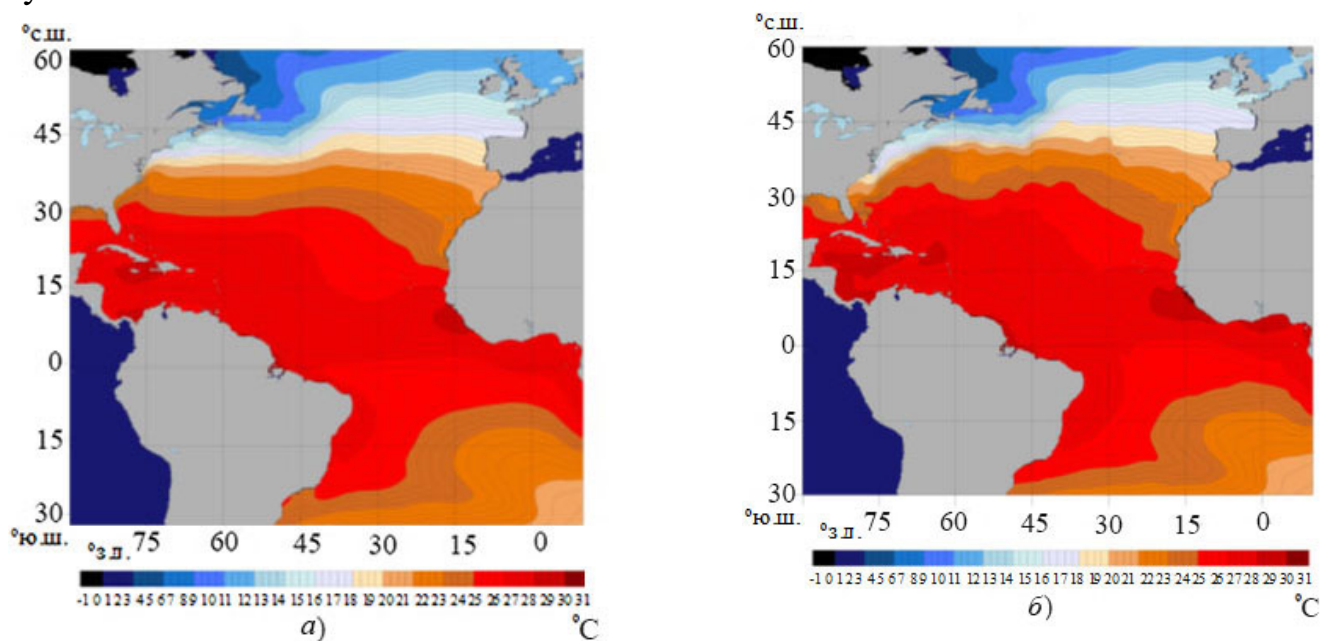


Рис. 3. Температура поверхности океана:
а) без усвоения б) с усвоением

Обратим внимание, что усвоение проводилось в районе от 10° ю.ш. до 55° с.ш., вдали от границ модельной области. Поэтому наиболее заметные различия в результатах двух экспериментов наблюдаются именно в этом районе. В Эксп.А (рис. 3а) хорошо воспроизводится струйный и фронтальный характер течения Гольфстрим, его меандрирование, которое прослеживается севернее полуострова Ньюфаундленд. В решении с усвоением данных не нарушается характер течения Гольфстрим, а именно струйный (в южной части) и фронтальный (в северной) характер течения Гольфстрим. В то же время заметно усилилась пространственная неоднородность и меандрирование течения. Значительные различия в результатах экспериментов наблюдаются в открытом океане. В Эксп.А распределение температуры достаточно регулярное, без пространственных неоднородностей. В Эксп.Б (рис. 3б) в полосе $15-45^{\circ}$ с.ш. наблюдается большое количество вихрей различного пространственного масштаба. При этом анализ эволюции вихрей показывает,

что однажды возникнув, как следствие усвоения данных, они продолжают существовать в модельном решении, без заметной диссипации. При повторном "попадании" усваиваемых данных на ранее сгенерированный вихрь его характеристики (температура, соленость, скорости течений) меняются незначительно.

3. Результаты работы и выводы

Разработана программная реализация параллельного алгоритма ассимиляции данных аэрокосмического мониторинга на основе метода ансамблевых фильтров Калмана (EnKF) в модель Мирового океана высокого пространственного разрешения (0.1°). Проведена серия экспериментов, показывающая преимущества выбранной схемы усвоения и ее программной реализации по сравнению с контрольным расчетом и стандартным методом объективной интерполяции.

Работа поддержана грантом РФФИ 14-05-00363.

Литература

1. Беляев К.П., Тучкова Н.П. Предельные распределения для характеристик при усвоении данных наблюдений в стационарном режиме // Информатика и её применения, 2015, т. 3. Вып. 2. С. 19-24.
2. Кауркин М.Н., Ибраев Р.А., Беляев К.П., Усвоение данных АРГО в модель динамики океана с высоким разрешением по методу ансамблевой оптимальной интерполяцией (EnOI) Метеорология и Гидрология, 2016, № 7. С. 46-56.
3. Михайлов Г.М., Беляев К.П., Сальников А.Н., Тучкова Н.П., Кирхнер И. Учет данных наблюдений для анализа динамических процессов в океанской модели циркуляции // Научный сервис в сети Интернет: труды XVII Всероссийской научной конференции (г. Новороссийск, 21-26 сентября 2015 г.). — М.: ИПМ им.М.В.Келдыша, 2015. — С. 240-243. — URL: <http://keldysh.ru/abrau/2015/proc.pdf#page=267>.