

ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 519.6

В.И. Агошков, М.В. Ассовский, С.В. Гиниатулин,
Н.Б. Захарова, Г.В. Куимов, И.Е. Пармузин, В.В. Фомин

Институт вычислительной математики Российской академии наук, г. Москва

ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ВАРИАЦИОННОЙ АССИМИЛЯЦИИ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ИВС «ИВМ РАН – ЧЕРНОЕ МОРЕ»

В настоящей работе представлена разработанная экспериментальная Информационно-вычислительная система (ИВС) вариационной ассимиляции данных наблюдений в трехмерной численной модели гидродинамики Черного моря. Исследован параллелизм модели гидродинамики Черного моря с использованием технологии *OpenMP*, представлены специальный интерфейс и рабочая версия ИВС «ИВМ РАН – Черное море».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *Черное море, информационно-вычислительная система, OpenMP.*

Введение. Решение и анализ задач геофизической термогидродинамики в акваториях Черного и Азовского морей с помощью ассимиляции данных наблюдений и с использованием современных информационных технологий и методов математического моделирования представляет собой перспективное направление исследования океана и атмосферы. Исследования такого рода являются одним из наиболее эффективных решений важных прикладных задач управлением ресурсами данных акваториях, поиском и спасением людей, прогнозом погоды, экологией и т.д.

Информационно-вычислительная система ИВС «ИВМ РАН – Черное море» позволяет:

1. Проводить расчеты для термогидродинамических параметров: температура, соленость, циркуляция, уровень.
2. Использовать данные для ассимиляции поверхностной температуры.
3. Просматривать полученные результаты в виде графических изображений.
4. Сохранять результаты расчетов.
5. Загружать сохраненные данные (результаты расчетов) для продолжения и просмотра результатов

© В.И. Агошков, М.В. Ассовский, С.В. Гиниатулин, Н.Б. Захарова, Г.В. Куимов, И.Е. Пармузин, В.В. Фомин, 2012

Варианты реализаций ИВС «ИВМ РАН – Черное море». ИВС «ИВМ РАН – Черное море» реализована в двух видах:

1. ИВС «ИВМ РАН – Черное море» для 32-битных систем *MS Windows*;
2. ИВС «ИВМ РАН – Черное море» для 64-битных систем *MS Windows*.

Рассматриваемая версия ИВС «ИВМ-РАН – Черное море» адаптирована исключительно для ОС (операционная система) семейства *Windows*. Тесты были проведены для продуктов *MS Windows XP* и *MS Windows 7*.

Сравнение и сборка модели гидродинамики Черного моря с использованием технологии OpenMP в среде MS Windows 7. На сегодняшний день широко распространены многоядерные (2 – 4 ядра, 2 – 8 потоков) процессоры с общей памятью для персональных компьютеров (ПК), поэтому целесообразно использовать современные технологии параллельного программирования для ускорения работы информационно-вычислительных систем разрабатываемых для работы на ПК.

Данная работа является продолжением исследования с расширением на ОС *Windows*. Главный интерес представляло поведение модели гидротермодинамики Черного моря (далее модели) [1 – 4] при смене типа операционных систем – при переходе от *Unix*-подобных систем к ОС *Windows*.

Основными целями настоящей работы являются: демонстрация эффективности и целесообразности использования технологии параллельного программирования *OpenMP* для работы модели на различных современных процессорах разного класса (различия по количеству ядер процессора, инструкциям ядра, архитектуре и др.) в среде *MS Windows 7*; выбраны наиболее распространенные процессоры фирм *AMD* и *Intel*; получены результаты полного времени работы модели (с записью полученных результатов) для сравнения со временем расчета модели.

Метод проведения исследования. В представленных ниже экспериментах использованы: *GFortran* (*GNU Fortran* – название компилятора языка программирования Фортран, входящего в коллекцию компиляторов *GNU*) из пакетов *MinGW* (*Minimalist GNU for Windows* – нативный программный порт *GNU Compiler Collection (GCC)* под *Microsoft Windows*) и *MinGW-w64*, а также внешние библиотеки *BLAS* (*Basic Linear Algebra Subprograms* – базовые подпрограммы линейной алгебры – стандарт де-факто интерфейса программирования приложений для создания библиотек, выполняющих основные операции линейной алгебры, такие как умножение векторов и матриц), *SPARSKIT 2*, *SuperLU 4.0*, *OpenMP* (*Open Multi-Processing* – открытый стандарт для распараллеливания программ на языках Си, Си++ и Фортран, описывающий совокупность директив компилятора, библиотечных процедур и переменных окружения, которые предназначены для программирования многопоточных приложений на многопроцессорных системах с общей памятью) и среды *MSYS* (*Minimal System* – win32-порты *GNU* оболочки, такие как *make*, *bash* и т.д.). В работе тестируются архитектуры x86 и x86-64.

Для проведения экспериментов была разработана система автоматического тестирования, которая является набором скриптов для командной строки *MS Windows* с использованием среды *MSYS*. Благодаря использова-

нию *MSYS* возможны сборка и использование библиотек предназначенных для *Unix*-подобных систем без существенного изменения порядка сборки.

Для каждой тестируемой машины собирались внешние библиотеки и модель с использованием *OpenMP* и без использования *OpenMP*. Для измерения времени расчетов использовались функции *OMP_GET_WTIME()* и *SYSTEM_CLOCK()*. Для версии модели с *OpenMP* брался размер стека 16 Мб.

Полученные результаты. Исследования проводились для следующих машин:

1. Нетбук с двухъядерным процессором *Intel Atom N570 @ 1,66 GHz*, *RAM: 2Gb (Win32)*;
2. Ноутбук с двухъядерным процессором *Intel Core 2 Duo T5550 @ 1,83 GHz*, *RAM: 2Gb (Win32)*;
3. Ноутбук с трехъядерным процессором *AMD Phenom II P820 @ 1,80 GHz*, *RAM: 4Gb (Win64)*;
4. Ноутбук с двухъядерным процессором *Intel Core i5-255M @ 1,70 GHz*, *RAM: 4Gb (Win64)*;
5. ПК с процессором *Intel Core i3-2120 @ 3,30 GHz*, *RAM: 4Gb (Win64)*;
6. ПК с процессором *Intel Core i7-960 @ 3,20 GHz*, *RAM: 8Gb (Win64)*;

При проведении экспериментов были получены зависимости времени расчета модели от числа нитей (потоков) с использованием *OpenMP*, которые (зависимости) сравнивались со временем расчета модели без использования *OpenMP*. На рис. 1 показан график зависимости времени расчета модели от числа нитей (под числом нитей равным нулю понимается расчет, произведенный без использования *OpenMP*) с использованием компилятора *GFortran* из пакета *MinGW*. На рис. 2 показан график зависимости времени расчета модели от числа нитей (под числом нитей равным нулю понимается расчет, произведенный без использования *OpenMP*) с использованием компилятора *GFortran* из пакета *MinGW-w64*. Также было проведено исследование, в котором сравнивались показатели записи результатов работы модели в конце расчета.

Ниже приведены результаты для каждой машины отдельно (нумерация соответствует списку выше):

1. Наименьшее время расчета получено с использованием компилятора *MinGW-w32*.
Наименьшее время расчета равно 1069,86 сек. (~ 17 мин. 50 сек.) (10 нитей).
Использование *OpenMP* дало наибольшее ускорение равное 2,63 с использованием *MinGW32* и 2,59 с использованием *MinGW-w32*.
Существенных отличий между компиляторами *GFortran* из *MinGW32* и *MinGW-w32* не обнаружено.
Время записи результатов (в секундах): *MinGW32*: 21,24 ± 3,86;
MinGW-w32: 7,28 ± 0,42.

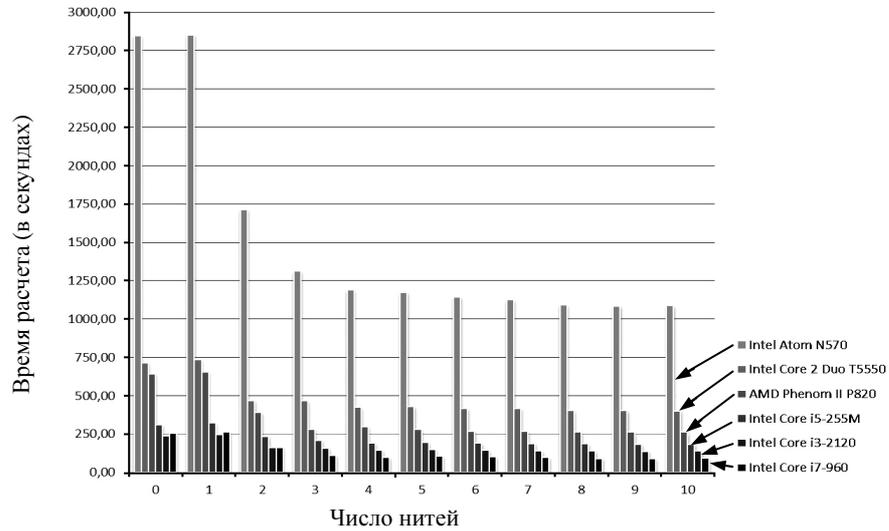


Рис. 1. Время расчета модели с использованием компилятора *GFortran* из пакета *MinGW* всех серий экспериментов.

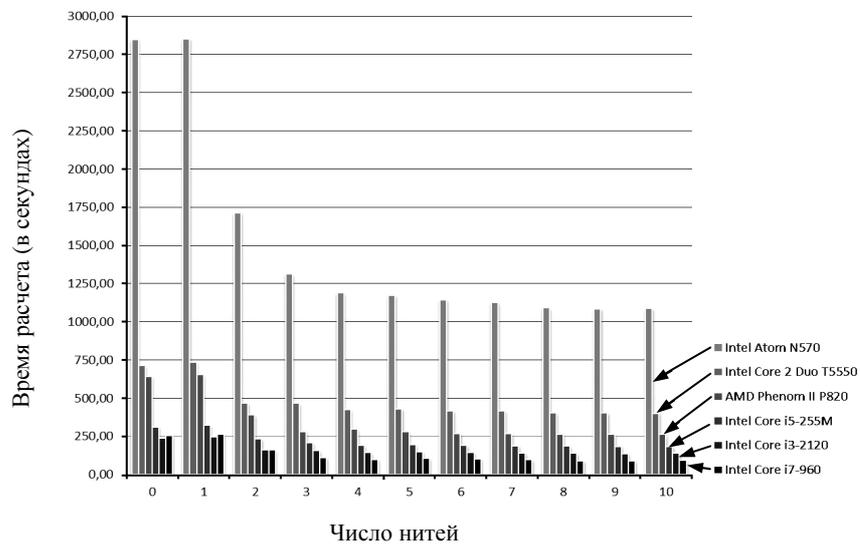


Рис. 2. Время расчета модели с использованием компилятора *GFortran* из пакета *MinGW-w64/w32* для всех серий экспериментов.

2. Наименьшее время расчета получено с использованием компилятора *MinGW*.
 Наименьшее время расчета равно 401,5 сек. (~ 6 мин. 41 сек.) (10 нитей).
 Использование *OpenMP* дало наибольшее ускорение равное 1,78 с использованием *MinGW32* и 1,79 с использованием *MinGW-w32*.
 Компилятор *GFortran* из *MinGW32* показал результаты немного лучше, чем из *MinGW-w32*.
 Время записи результатов (в секундах): *MinGW32*: $8,83 \pm 0,58$; *MinGW-w32*: $3,68 \pm 0,34$.
3. Наименьшее время расчета получено с использованием компилятора *MinGW-w64*.
 Наименьшее время расчета 225,62 секунды (~ 2 мин. 46 сек.) (10 нитей).
 Использование *OpenMP* дало наибольшее ускорение равное 2,46 с использованием *MinGW64* и 2,24 с использованием *MinGW-w64*.
 Компилятор *GFortran* из *MinGW* показал результаты лучше, чем из *MinGW-w64*.
 Время записи результатов (в секундах): *MinGW64*: $2,80 \pm 0,02$; *MinGW-w64*: $2,19 \pm 0,05$.
4. Наименьшее время расчета получено с использованием компилятора *MinGW-w64*.
 Наименьшее время расчета равно 148,88 сек. (~ 2 мин. 29 сек.) (9 нитей).
 Использование *OpenMP* дало наибольшее ускорение равное 1,70 с использованием *MinGW64* и 1,50 с использованием *MinGW-w64*.
 Компилятор *GFortran* из *MinGW-w64* показал результаты лучше, чем из *MinGW64*.
 Время записи результатов (в секундах): *MinGW64*: $3,99 \pm 0,30$; *MinGW-w64*: $2,52 \pm 0,28$.
5. Наименьшее время расчета получено с использованием компилятора *MinGW-w64*.
 Наименьшее время расчета 113,00 сек. (~ 1 мин. 53 сек.) (9 нитей).
 Использование *OpenMP* дало наибольшее ускорение равное 1,72 с использованием *MinGW64* и 1,51 с использованием *MinGW-w64*.
 Компилятор *GFortran* из *MinGW-w64* показал результаты лучше, чем из *MinGW64*.
 Время записи результатов (в секундах): *MinGW64*: $1,94 \pm 0,02$; *MinGW-w64*: $0,98 \pm 0,07$.
6. Наименьшее время расчета получено с использованием компилятора *MinGW-w64*.
 Наименьшее время расчета 73,60 с (~ 1 мин. 14 сек.) (9 нитей).
 Использование *OpenMP* дало наибольшее ускорение равное 2,86 с использованием *MinGW64* и 2,42 с использованием *MinGW-w64*.
 Компилятор *GFortran* из *MinGW-w64* показал результаты лучше, чем из *MinGW64*.

Время записи результатов (в секундах): *MinGW64*: $1,98 \pm 0,03$;
MinGW-w64: $1,05 \pm 0,13$.

Основные выводы.

Результаты проведенных тестов показали, что:

1. С использованием технологии *OpenMP* можно существенно (наибольшее значение из проделанных тестов – 2,63) увеличить скорость расчета модели.
Различие между временем расчета тестируемых компиляторов на архитектуре x86 составляет 0,8 % для *Intel Atom N570* и 3,8 % – для *Intel Core 2 Duo T5550*.
2. Различие между временем расчета тестируемых компиляторов на архитектуре x86-64 составляет 19 % для *AMD Phenom II P820*, 26 % – для *Intel Core i5-255M* и 25 % – для *Intel Core i3-2120*.
3. Время записи данных на диск на архитектуре x86 больше, чем на x86-64.
4. Время записи на диск с использованием пакета *MinGW-w64/32* меньше, чем с использованием *MinGW* (различия от 1,28 до 2,92 раз).
5. Результаты, показанные процессорами соответствуют ожидаемым. Процессоры более высокого класса показали лучше результаты.
6. В итоге, все процессоры при использовании технологии *OpenMP* улучшили результаты работы модели. Улучшений работы модели можно достичь и без использования платных компиляторов (например, *Intel Visual Fortran Compiler*), а при использовании свободно распространяющихся компиляторов с открытым исходным кодом, таким как *GFortran* из *MinGW* и *MinGW-w64/w32*.

Данным исследованием можно руководствоваться при выборе ЭВМ с общей памятью (ПК, ноутбуки, нетбуки, неттопы и т.д.) для работы с численной моделью гидро-термодинамики Черного моря, а также с Информационно-вычислительными системами вариационной ассимиляции данных наблюдений, использующими в качестве математического обеспечения данную модель.

Интерфейс «ИВС ИВМ РАН – Черное море». Интерфейс ИВС «ИВМ-РАН – Черное море» позволяет пошагово выполнить все этапы, начиная от создания рабочей директории или загрузки ранее сделанного расчета до вывода графического решения и его сохранения. Рекомендуется выполнять расчеты согласно схеме описанной ниже. В дальнейшем ИВС «ИВМ РАН – Черное море» для краткости будем именовать Системой, а интерфейс ИВС «ИВМ РАН – Черное море» – интерфейсом Системы.

Этапы работы «ИВС ИВМ РАН – Черное море». Ниже представлены этапы работы «ИВС ИВМ РАН – Черное море».

Этап 1. Выбор начала расчета. При старте работы с Системой возможны создание нового расчета или загрузка ранее сохраненного расчета.

Этап 2. Установка даты и времени начала и окончания расчета. На данном этапе устанавливаются даты и времени окончания расчета. Это можно сделать при помощи клавиатуры или мыши.

Этап 3. Задание ассимиляции поверхностной температуры. На этом этапе возможны 2 варианта: провести расчет без использования ассимиляции и с использованием ассимиляции. Также можно использовать два способа ассимиляции, о которых можно прочитать в руководстве пользователя.

Этап 4. Запуск расчета. На этом этапе есть возможность выбрать один из следующих параметров для расчета уровня:

- без приливообразующих сил;
- с приливообразующими силами;
- с приливообразующими силами и дополнительным потенциалом.

Также возможно выбрать запуск, как последовательной версии, так и параллельной. Для современных ПК ускорение для параллельной версии в сравнении с последовательной версией примерно в 2 – 3 раза.

После запуска расчета появится индикатор расчета. При нажатии на кнопку «Отмена» расчет можно прекратить.

Этап 5. Сохранение расчета. Если результаты Этапа 4 удовлетворительные, то данный расчет можно сохранить для последующего использования.

Этап 6. Графический вывод результатов. Главное окно интерфейса ИВС реализовано в виде вкладок. Для перехода во вкладку «Визуализация» необходимо нажать на заголовок соответствующей вкладки. В данном режиме можно задать параметры для просмотра результатов, сделать предварительный просмотр и открыть изображение в новой вкладке. Возможны выводы графических результатов для следующих физических величин:

- Температура
 - на поверхности;
 - на глубине 50 метров;
 - на глубине 1000 метров.
- Циркуляция
 - на поверхности;
 - на глубине 50 метров;
 - на глубине 1000 метров.
- Соленость
 - на поверхности;
 - на глубине 50 метров;
 - на глубине 1000 метров.
- Уровень (см. рис. 3).

По этим величинам также можно строить разрезы по широте и долготе. Для времени вывода реализован выбор точки записанной при расчете. Также возможно указать пользовательскую шкалу для изображений.

Этап 7. Предварительный просмотр. Для предварительного просмотра изображения нажмите кнопку «Предварительный просмотр».

Этап 8. Просмотр в новой вкладке. После нажатия на кнопку «Показать в новой вкладке» появляется Вкладка с изображением, которое было получено из указанных параметров. Для закрытия вкладки используется кнопка «Закрыть» в каждой вкладке.

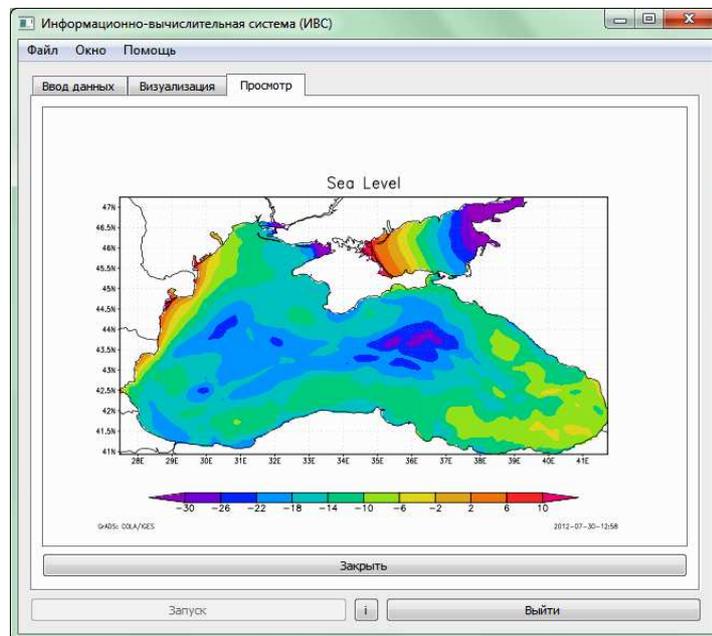


Рис. 3. Главное окно пользовательского интерфейса в режиме просмотра результатов расчета.

Этап 9. Загрузка результатов. Осуществить загрузку сохраненных результатов в начале работы программы можно при помощи нажатия на кнопку «Загрузить расчет». После этого появится диалоговое окно «Загрузить расчет». В графе «Имя папки» указать название папки, в которую был записан. После корректной загрузки дата и время начала расчета будут изменены на дату и время окончания сохраненного расчета. Таким образом, можно будет продолжить ранее заверченный и сохраненный расчет. При некорректной загрузке дата и время начала расчета не будут изменены.

Этап 10. Информация. При нажатии «Меню -> Помощь -> О программе» будет показано информационное сообщение, содержащее краткую информацию об интерфейсе ИВС. При нажатии «Меню -> Помощь -> Справка» (или клавиша F1) будет показан *UserGuide.pdf*, который является руководством для пользователей интерфейсом ИВС.

Работа была выполнена при финансовой поддержке: Программы Президиума РАН «Черное море как имитационная модель океана» (Проект 3.2 Создание экспериментальной системы вариационной ассимиляции данных наблюдений для морских прогнозов в Черном море), РФФИ (проект 11-01-12046-офи-м-2011) и ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007 – 2013 годы».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Agoshkov V.I., Giniatulin S.V., Kuimov G.V.* OpenMP Technology and Linear Algebra Packages in the Variational Data Assimilation Systems // Proceedings of First China-Russia Conference on Numerical Algebra with Applications in Radiative Hydrodynamics, Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing, China, 2012. – P. 9-15.
2. *Agoshkov V.I., Assovskiy M.V., Lebedev S.A.* Numerical simulation of the Black Sea hydrothermodynamics taking into account tide-forming forces // Russ. J. Numer. Anal. Math Modelling. – 2012. – Vol. 27, № 1. – P. 5-31.
3. *Agoshkov V.I., Parmuzin E.I.* Numerical solution of the variational assimilation problem for sea surface temperature in the model of the Black Sea dynamics // Russ. J. Numer. Anal. Math Modelling. – 2012. – Vol. 27, № 1. – P. 69-94.
4. *Zalesny V.B., Diansky N.A., Fomin V.V., Moshonkin S.N., Demyshev S.G.* Numerical model of the circulation of the Black Sea and the Sea of Azov // Russ. J. Numer. Anal. Math Modelling. – 2012. – Vol. 27, № 1. – P. 95-111.

Матеріал поступив в редакцію 25.10.2012 г.

АНОТАЦІЯ У даній роботі представлена розроблена експериментальна Інформаційно-обчислювальна система (ІОС) варіаційної асиміляції даних спостережень в тривимірній чисельній моделі гідродинаміки Чорного моря. Досліджено паралелізм моделі гідродинаміки Чорного моря з використанням технології *OpenMP*, представлені спеціальний інтерфейс і робоча версія ІВС «ІВМ РАН – Чорне море».

ABSTRACT In the article the experimental Information data variation assimilation system (ICS) is presented. The system is based on three-dimensional numerical hydrodynamic model of the Black Sea. The parallelism of numerical hydrodynamic model of the Black Sea with the use *OpenMP* is investigated. Special interface is developed and included in the ICS.