

УДК 551.509.52

В.С. Барабанов, канд. физ.-мат. наук,

В.В. Ефимов, профессор, д-р физ.-мат. наук,

М.В. Шокуров, д-р физ.-мат. наук

Морской гидрофизический институт НАН Украины

ул. Капитанская 2, г. Севастополь, Украина, 99011

E-mail: vao@alpha.mhi.iuf.net

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ДЛЯ ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

Разработана автоматизированная система анализа и прогноза атмосферной циркуляции для Черноморского региона, предназначенная для использования совместно с моделями циркуляции вод моря. Представлены основные характеристики системы и результаты сравнения расчетных данных со спутниковыми измерениями приводного ветра и данными метеостанций Крыма.

Создание надежных систем диагноза и прогноза атмосферной циркуляции для отдельных регионов на базе мезомасштабных численных моделей является актуальной научно-технической проблемой, решению которой посвящено большое количество статей в ведущих журналах гидрометеорологической тематики. Некоторые из разработанных систем работают в оперативном режиме и их расчетные области включают акваторию Черного моря. Так, в настоящее время в Морском гидрофизическом институте НАН Украины используются данные систем прогноза ALADIN-Romania и SKIRON (Греция): расчетные приповерхностные потоки импульса, тепла и влаги используются как граничные условия в разрабатываемых моделях циркуляции вод Черного моря. Для упрощения процедуры получения данных с высоким пространственным и временным разрешением в оперативном режиме и организации в будущем совместной работы морских и атмосферных моделей нами была разработана новая система анализа и прогноза атмосферной циркуляции на основе известной свободно распространяемой мезомасштабной модели MM5 версии 3.7 [1]. В отличие от аналогов, домены данной модели были специально выбраны с целью детального воспроизведения состояния атмосферы для юга Украины и акватории Черного моря. Другие характерные особенности адаптированной версии модели описываются ниже. Целью данной работы является оценка эффективности использования мезомасштабной модели в представленной конфигурации путем сравнения расчетных полей приповерхностного ветра с данными измерений.

Модели для ограниченной территории требуют задания не только начальных, но и периодически подставляемых граничных данных, от которых в значительной мере зависит качество моделирования. В режиме диагноза начальные и граничные условия для модели MM5 брались из американского глобального оперативного анализа GDAS с пространственным разрешением $1^\circ \times 1^\circ$ и дискретностью по времени 6 часов, имеющегося в открытом доступе на сервере nomad3.ncep.noaa.gov.

Граничное условие на подстилающей поверхности для акватории Черного моря бралось из оперативно пополняемого архива глобальной температуры поверхности океана OISST, расположенного по адресу <http://nomads6.ncdc.noaa.gov/pub/raid1c/sst>. Эти данные также имеют пространственное разрешение $1^\circ \times 1^\circ$ и обновляются раз в неделю. Для составления этого архива используются все имеющиеся оперативные измерения, включая спутниковые. Оба источника данных широко востребованы метеорологами во всем мире и достаточно надежны.

Использовалось два вложенных домена с шагом сетки 27 и 9 км, внешний с сеткой 91×76 узлов и внутренний с сеткой 145×100 узлов, сцентрированные в точке 35 в.д., 43,5 с.ш. По вертикали имелось 23 неравномерно расположенных уровня, со следующими значениями σ -координат: 0.995, 0.985, 0.970, 0.945, 0.910, 0.870, 0.825, 0.775, 0.725, 0.675, 0.625, 0.575, 0.525, 0.475, 0.425, 0.375, 0.325, 0.275, 0.225, 0.175, 0.125, 0.075, 0.025.

В модели MM5 предусмотрены реализации различных схем параметризации подсеточных процессов. Ниже перечислены варианты, выбранные в реализованной системе.

1. Для параметризации физических процессов в пограничном слое выбрана схема Pleim-Chang.
2. Для параметризации кучевой конвекции использовалась схема Grell.
3. Для расчета переноса излучения в атмосфере была выбрана схема Cloud с учетом поглощения и переизлучения облачностью.
4. Для расчета переноса гидрометеоров использовалась схема Simple Ice с одной формой льда в атмосфере.
5. Для расчета потоков тепла на поверхности суши использовалась модель Pleim-Xiu.

Указанные схемы, судя по литературе, пригодны для расчета в средних широтах с разрешением до нескольких километров и не требуют значительных вычислительных ресурсов. Схема Pleim-Xiu/Pleim-

Chang при этом включает некоторые усовершенствованные параметризации для приземного слоя [2], и дает на выходе более полный набор переменных (включая длину Монино–Обухова и суммарный поток радиации на поверхности), полезных для анализа состояния атмосферы в погранслое. Последнее делает ее более удобной для организации передачи данных в модели циркуляции вод моря, по сравнению со схемой MRF, принятой в чаще всего применяющейся базовой конфигурации модели, или широко распространенной схемой Eta. Модель была установлена на персональном компьютере под управлением операционной системы Linux. Для компьютера с процессором AMD Athlon 2 ГГц время счета на сутки составляло около 4 часов.

Первые расчеты с использованием данной версии модели были осуществлены в январе 2007 г., по результатам была проведена предварительная валидация модели (см. далее). С марта 2007 г. ежедневно проводилась перекачка исходных данных, собственно расчет, сбор и анализ результатов, включая сравнение с данными измерений, архивирование массивов данных на DVD-дисках, подготовка карт погоды и другого графического материала для представления в электронном виде. Был принят следующий режим расчетов: модель запускалась раз в сутки и проводился расчет атмосферной циркуляции на двое суток вперед. Первые сутки региональная модель адаптировалась к крупномасштабному начальному условию и это начальный отрезок отбрасывался, вторые сутки использовались уже как результат анализа. С сентября 2007 года был организован также параллельный расчет в режиме прогноза на трое суток с использованием в качестве начальных и граничных данных американского массива GFS (Global Forecast System). С точки зрения повышения оперативности прогноза имеет большое значение организация автоматизации работы прогностической системы, которая была частично проведена средствами операционной системы, а также с использованием программного пакета GrADS (<http://grads.iges.org>). Поле температуры поверхности моря в прогностических расчетах считалось постоянным (сами данные брались из массива OISST для последнего доступного срока). Такое техническое решение является вынужденным компромиссом на предварительном этапе, когда еще нет возможности использовать данные моделей циркуляции моря. С февраля 2008 г. система прогноза работает с повышенным пространственным разрешением: в качестве исходных данных используется вариант GFS-прогноза с полуградусным разрешением, а две вложенные расчетные сетки имеют шаг 18 и 10 км. Данные этих прогнозов по некоторым полям в графическом виде представляются на Web-сайте vao.hydrophys.org.

Для выбора той или иной версии модели для использования в оперативной системе диагноза и прогноза требуется экспериментальная проверка результатов расчета. При отсутствии измерений поверхностных потоков единственным способом валидации модели является сравнение с обычными наблюдениями за погодой в выбранных пунктах. В данном случае для сравнения полей приповерхностного ветра нами использовались данные измерений на метеостанциях прибрежной зоны, полученные с вебсайта meteo.infospace.ru, а также данные спутникового скаттерометра QuikScat.

Сравнение данных расчетов и измерений также представляет интерес с точки зрения непосредственного применения мезомасштабного моделирования для расчета погодных условий. На рисунке 1 показаны временные ряды для модуля приземного ветра на станциях Черноморское и Симферополь, полученные на базе мезомасштабной модели и измеренные за январь 2007 г. Некоторые количественные оценки качества моделирования по этим станциям приведены в таблице 1. Как видно, расчет дает достаточно качественные результаты по полю приземного ветра, как по величине, так и по направлению. Нами были также проверены упомянутые выше альтернативные параметризации погранслоя, но с точки зрения корреляции поля ветра с измерениями на крымских станциях они дают весьма близкие результаты (отличие не превышает 10% как в зимний, так и в летний период), что еще раз убеждает в пригодности выбранной схемы.

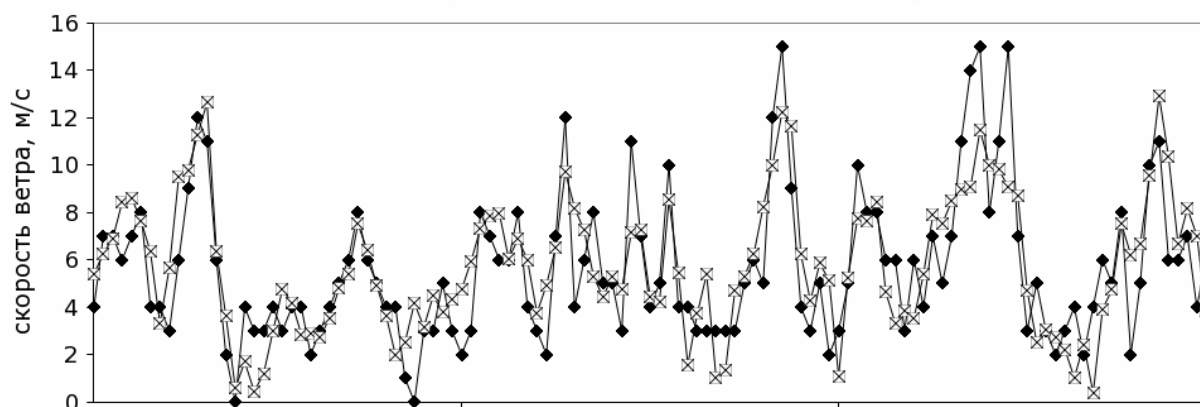
Таблица 1 – Коэффициенты корреляции для модуля и компонентов ветра (при сравнении измерений и расчетов за январь 2007 г.)

	Корреляция модуля ветра	Корреляция зональных компонентов	Корреляция меридиональных компонентов
Черноморское	0,82	0,74	0,91
Симферополь	0,78	0,78	0,76

На рисунке 2 представлены результаты сравнения рассчитанного нами приводного ветра (MHI, показаны косым крестом), а также результатов расчетов моделей ALADIN и SKIRON и входных данных (анализа GDAS) со спутниковыми измерениями QuikScat для Черного моря. По ординате – коэффициент корреляции со спутниковыми данными по всем точкам, попадающим в акваторию Черного моря, по абсциссе – число таких измерений, с 1 по 30 января 2007 г. (спутник выдает результаты дважды в сутки). Судя по рисунку 2, результаты моделирования по крайней мере не уступают по качеству аналогичным

моделям и могут быть применены для воспроизведения поля приводного ветра в тех случаях, когда необходимо получить такого рода данные с высоким временным и пространственным разрешением.

Станция 33946 Симферополь



Станция 33924 Черноморское

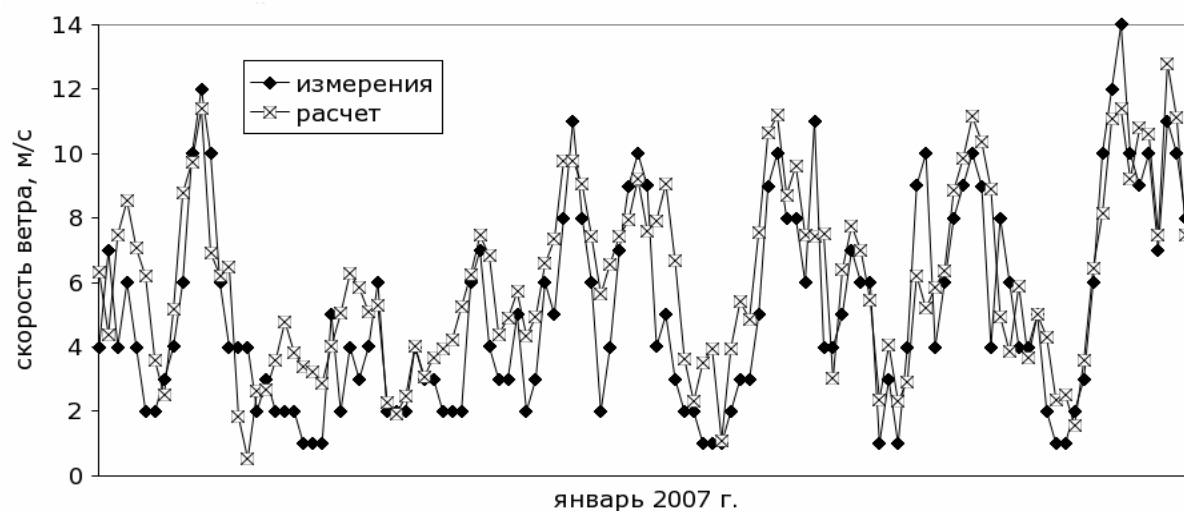


Рисунок 1— Сравнение расчетных и измеренных величин ветра на высоте 10 м

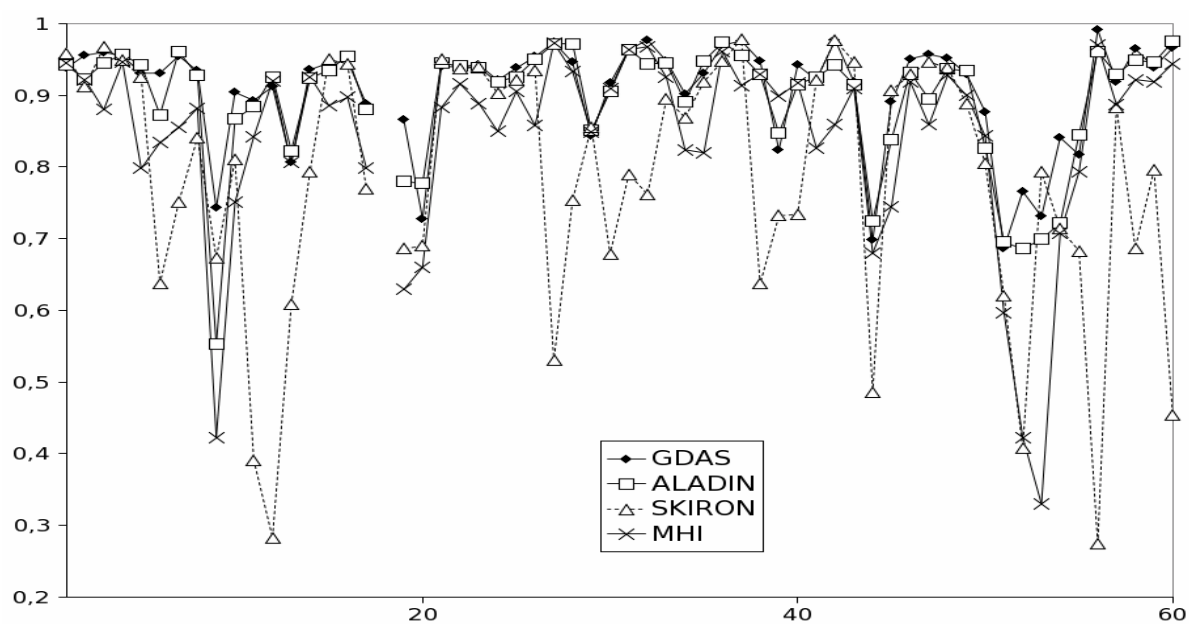


Рисунок 2 — Сравнение данных моделей и анализа со спутниковыми измерениями приводного ветра в акватории Черного моря, январь 2007 г.

Проведенное сравнение показало, что текущая версия мезомасштабной модели в целом пригодна для использования в задачах, требующих использования полей приповерхностного ветра с высоким пространственным и временным разрешением. Детальные сравнения модельных данных с измерениями за более длительные сроки являются задачей дальнейших исследований. Остается нерешенным вопрос о валидации модели по поверхностным потокам тепла и воды в связи с крайне ограниченным числом измерений этих величин для морской поверхности. Требуется проведение целого ряда работ для усовершенствования самой системы. Прежде всего, это относится к организации двустороннего обмена данными с работающей моделью циркуляции вод Черного моря для обеспечения более корректного задания температуры поверхности. Также к перспективным задачам, решение которых становится возможным с повышением быстродействия используемых компьютеров, можно отнести усвоение спутниковых данных о ветре, использование более качественных параметризаций пограничного слоя и увеличение пространственного разрешения.

Библиографический список

1. Dudhia J. A nonhydrostatic version of the Penn State/NCAR mesoscale model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front / J. Dudhia // Mon. Wea. Rev. — 1993. — Vol. 121. — P. 1493–1513.
2. Pleim J.E. A simple, efficient solution of flux-profile relationships in the atmospheric surface layer / J.E. Pleim // J. Appl. Met. — 2006. — Vol. 45. — P. 341–347.

Поступила в редакцию 24.11.2008 г.