ВАЛИДАЦИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ АТМОСФЕРНОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИИ ДРИФТЕРОВ ДЛЯ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Е.Е. Лемешко

Севастопольский национальный технический университет
г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: mind88@yandex.ru

Цель данной работы заключается в сравнении данных ре-анализа атмосферного давления региональной модели высокого разрешения для Черного моря с измерениями атмосферного давления по данным дрифтерных наблюдений. Для этого использовались данные шести дрифтеров, запущенных в мае 2004 г. в северо-западной части моря.

Введение. Для решения задач оперативного прогноза погоды всё в большей мере используются региональные численные модели с ассимиляцией данных об атмосферных процессах, которые измеряются и накапливаются на сети наземных метеорологических станций. Естественным образом встает вопрос о качестве прогноза погоды над акваторией моря. Поэтому цель данной работы заключается в сравнении данных реанализа атмосферного давления региональной численной модели высокого разрешения 10x10км для Черного моря (http://vao.hydrophys.org) с измерениями атмосферного давления поверхностными дрейфующими буями. Программа дрифтерных наблюдений для Черного моря выполняется с 1998 г. по настоящее время, всего было запущено около восьмидесяти дрифтеров различных модификаций [1]. Для нас представляли интерес дрифтеры SVP-B с датчиком измерения атмосферного давления, характеристики которого приведены в табл. 1. Из базы данных поверхностных дрифтеров был выбран наиболее репрезентативный эксперимент – одновременный запуск шести поверхностных SVP-B дрифтеров в мае 2004 г. в северо-западной части моря (рис. 1).

Таблица 1

Характеристики датчика давления дрифтера

Параметр	Значение
Диапазон измерений, мб	850 – 1054,7
Разрешение, мб	0,1
Точность измерения, мб	±1,0

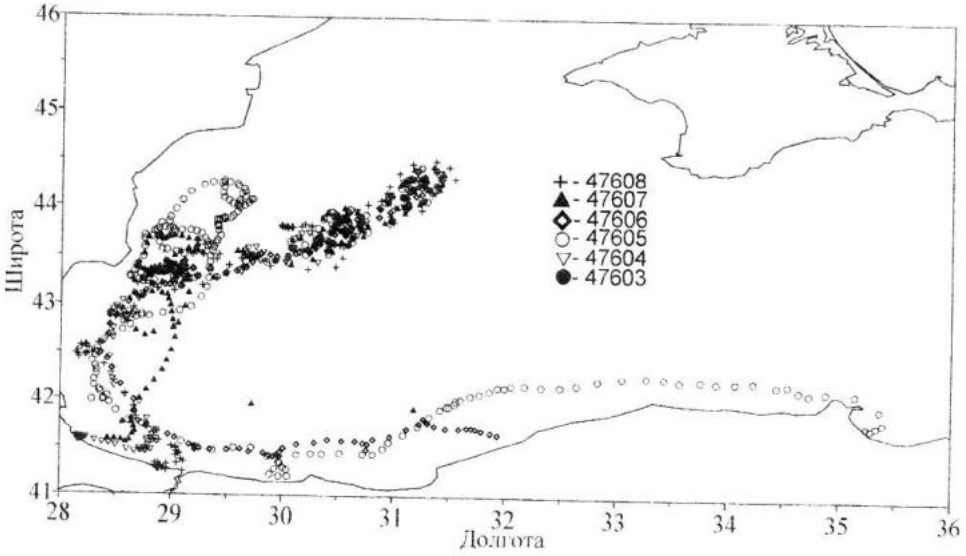


Рис. 1. Траектории шести дрифтеров № 47603 – 47608 через каждые десять отсчетов по времени с мая по октябрь 2004 г. Центр области запуска всех дрифтеров около (44.3 с.ш., 31.25 в.д.)

Анализ основных технических характеристик дрифтеров [1, 2] показал, что именно канал измерения атмосферного давления удовлетворяет достаточно высоким требованиям, обеспечивающим погрешность измерений не более 1 мб в диапазоне температур от –20 до 50 °С

и в диапазоне значений давления от 850 до 1054,7 мб, что позволяет перевозить дрифтеры самолетом и производить авиационную развертку этих систем, что приводит к первоначальному погружению дрифтера на определенную глубину (табл. 1). Кроме того, опыт эксплуатации показал, что работоспособность дрифтеров сохранятся в условиях ударных и вибрационных нагрузок [2]. Данные атмосферного давления региональной численной модели выбирались вдоль траекторий движения дрифтеров в синхронные моменты времени в узле сетки 10x10 км, ближайшем на данный момент к положению соответствующего дрифтера.

Анализ данных. Вкратце охарактеризуем пространственно-временную изменчивость полей атмосферного давления по данным ре-анализа над Черным морем в период дрифтерного эксперимента. Были рассчитаны карты средних значений и среднеквадратичных отклонений (СКО) давления для каждого месяца. Наиболее значительная изменчивость наблюдалась в мае месяце: с 10 по 15 мая в западной части моря был активный циклон, среднемесячное давление менялось по всей акватории моря от 1010 до 1013 мб. Пространственная изменчивость СКО составила от 3,5 до 6 мб, при этом область максимальных значений СКО находилась в северо-западной части моря. В июне среднемесячное значение давления по всему морю изменялось от 1011 до 1015,5 мб, а СКО было в диапазоне от 2,5 до 4 мб, область максимальных значений СКО находилась в северо-западной и восточной частях моря. Характер временной изменчивости поля атмосферного давления, осредненного по всему Черному морю, демонстрируется на рис. 2. Характерный период временной изменчивости среднего по морю поля давления составил 7 – 10 дней, а размах колебаний менялся от 1002,5 до 1025 мб (рис. 2).

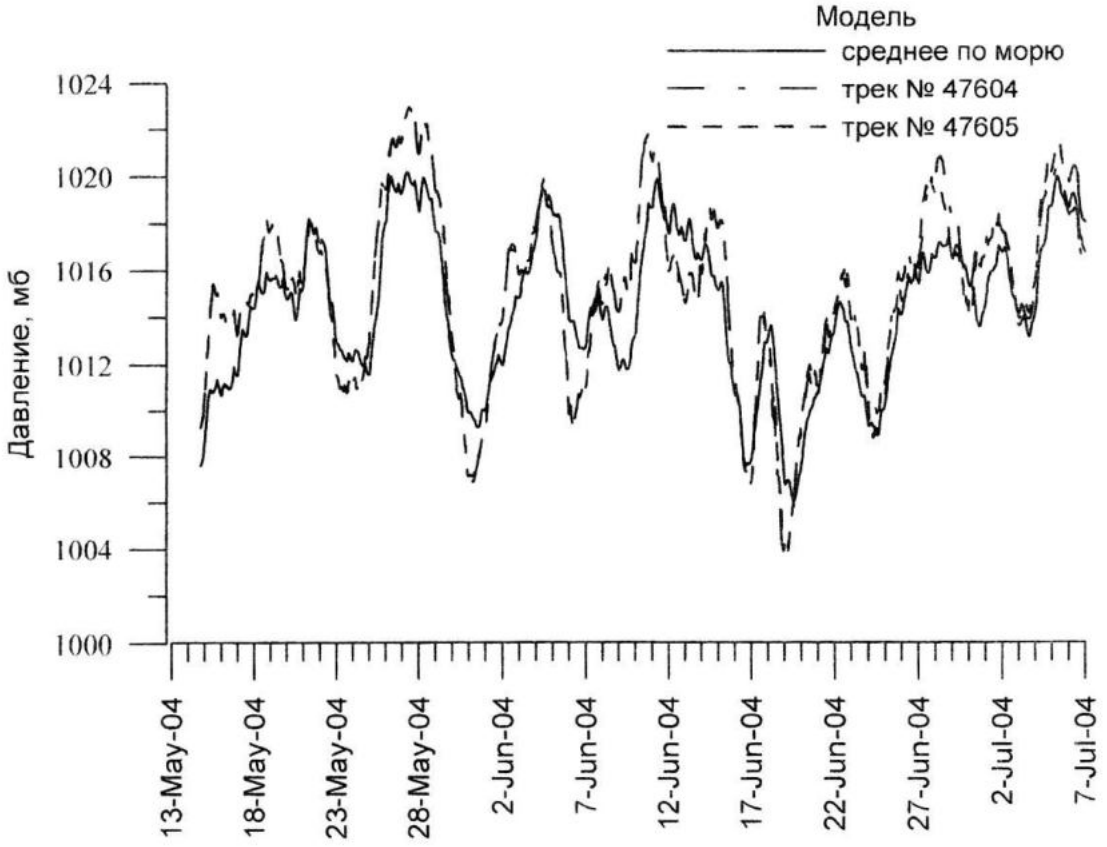


Рис. 2. Атмосферное давление по данным модели: осредненное по всему Черному морю и вдоль трасс дрифтеров

На рис. 2 в качестве примера также приведены данные атмосферного давления модели, выбранные вдоль траекторий движения дрифтеров № 47604 и № 47605. В целом их реализации отражают характер изменчивости осредненного по Черному морю поля атмосферного давления, однако из-за особенностей пространственно-временной изменчивости вдоль трасс движения дрифтеров (рис. 1) наблюдаются отличия на 2–5 мб (рис. 2).

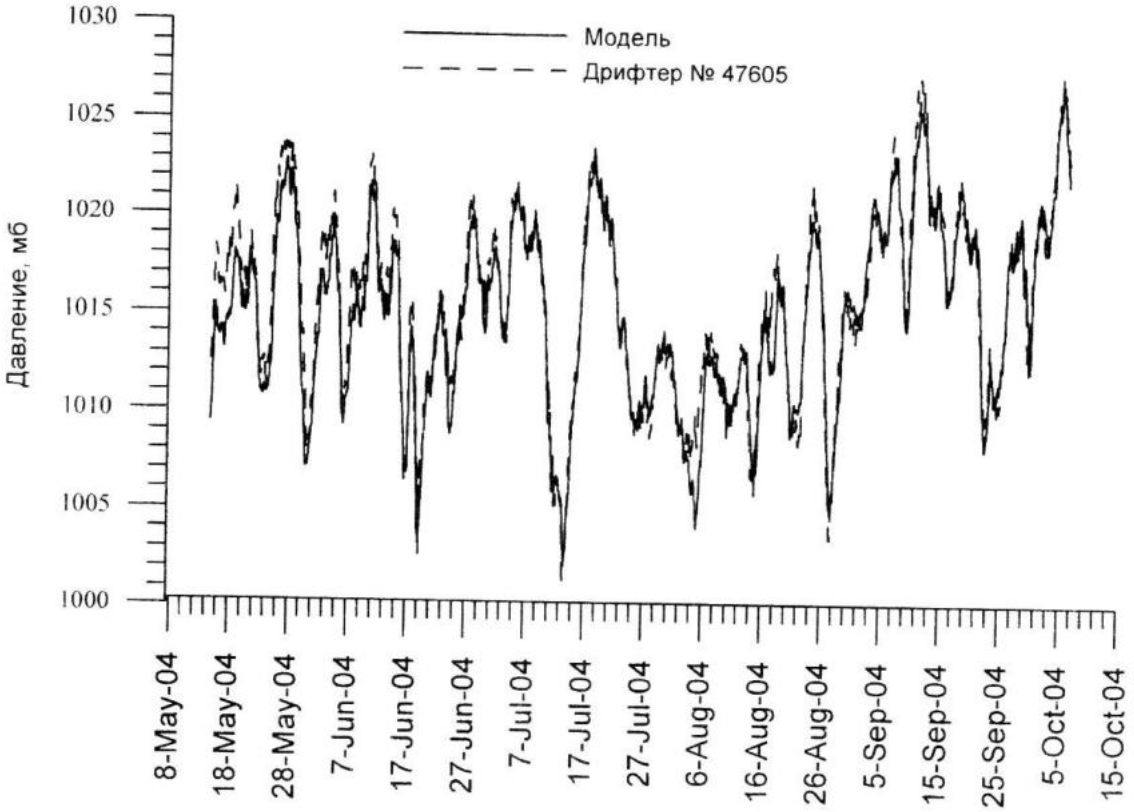
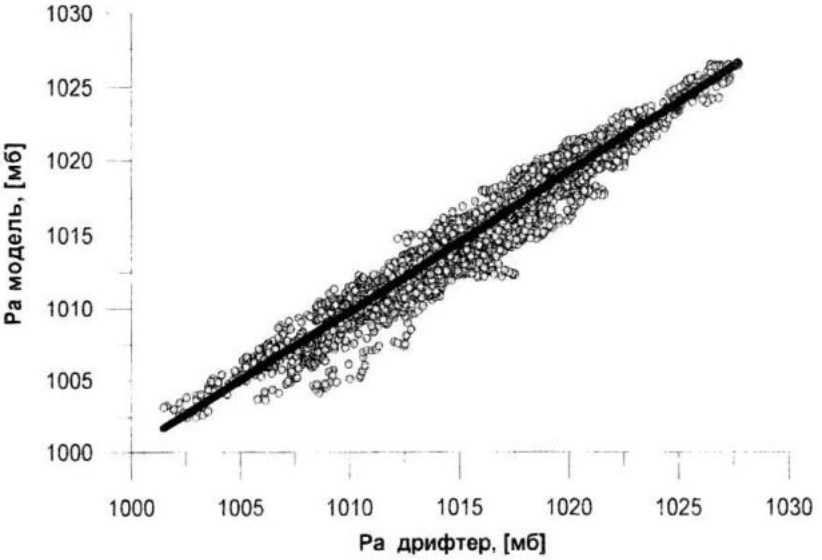


Рис. 3. Атмосферное давление модели и измеренных значений вдоль трассы дрифтера № 47605

Данные атмосферного давления модели были сформированы на сетке с пространственным разрешением 10x10 км и временной дискретностью 1 час. Число измерений дрифтера в сутки менялось от 10 до 24 и, как правило, происходило в неравные интервалы времени. Поэтому применялась процедура интерполяции кубическими сплайнами для формирования рядов данных наблюдений с одночасовой дискретизацией. Эта процедура применялась для всех 6 дрифтеров. Ошибки интерполяции составили не более 0,1 мб. Далее сформированные ряды давления сравнивались с атмосферным давлением по данным модели вдоль траектории движения дрифтеров. При сравнении выбирался ближайший в данный момент времени к дрифтеру узел сетки. В качестве примера на рис. 3 приведено сравнение модельных и измеренных значений давления дрифтера № 47605. Этот дрифтер проработал дольше всех из кластера дрифтеров, поэтому он использовался для всех иллюстраций. В целом результаты сравнения модельных данных и измерений давления дрифтерами удовлетворительны. Модель систематически занижает значение атмосферного давления в среднем на 1,2 мб, при этом СКО разницы данных модели и измерений составило менее 1 мб – погрешности датчика давления. Статистические характеристики разницы атмосферного давления модели и измерений по всей группе дрифтеров приведены в табл. 2.

Все полученные оценки СКО этой разницы по группе из шести дрифтеров меньше значений точности измерения датчика давления дрифтера 1 мб (табл. 1). Конкретно для дрифтера № 47605 максимальное расхождение между двумя типами данных составило около 5 мб и было отмечено 13–18 мая 2004 г. в период прохождения штормового циклона в западной части моря (рис. 3). Тем не менее корреляция между данными для этого дрифтера составила 0,97, а наличие линейной регрессии показано на рис. 4. Уравнение регрессии для дрифтера № 47605 имеет вид: Y = 0,95 * X + 52,4, где X – данные измерений, Y – данные модели (рис. 4). Для остальных дрифтеров корреляция составила от 0,94 до 0,97, что также позволило оценить коэффициенты линейной регрессии. А корреляции дрифтеров с давлением модели, осредненным по всей площади моря $<P_м>$, составили от 0,89 до 0,91. Следует отметить, что значения корреляций среднего давления и давления модели вдоль траекторий дрифтеров (рис. 2) были выше и равны 0,93 – 0,94. Для того, чтобы оценить характерные временные масштабы изменчивости поля давления были рассчитаны спектры. Далеко не очевидно, что частотный состав давления дрифтеров, то есть данных в лагранжевом представлении, будет совпадать с характерными частотами данных модели. На рис. 5 приведены спектральная мощность среднего давления $<P_м>$ и давления по данным дрифтера № 47605. Частоты выше 1 цикл/сутки были отфильтрованы. Выделяются пики с периодами 13,3 суток и 4,2 суток в обоих типах данных и с периодом 5,9 суток в данных дрифтера.

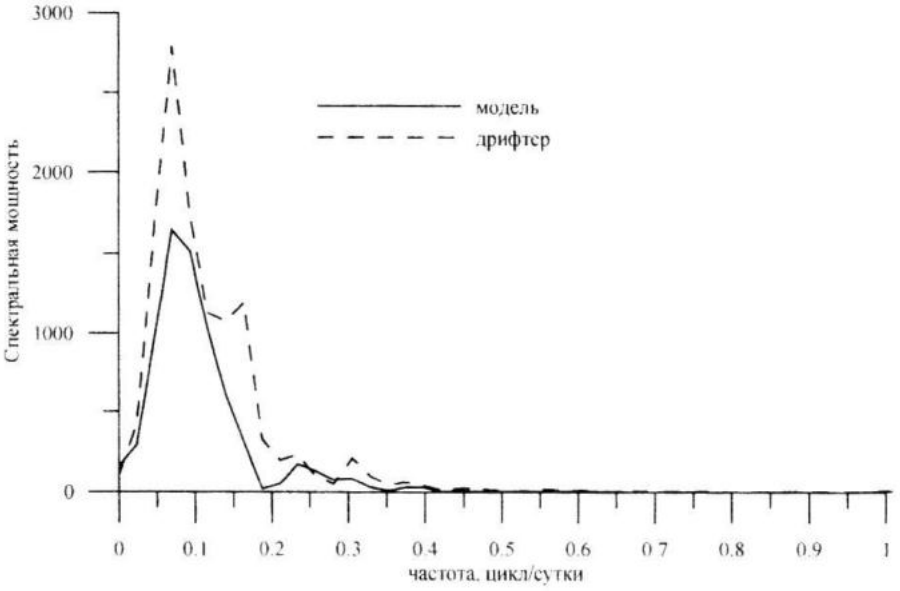


Р и с. 4. Линейная регрессия атмосферного давления по данным дрифтера (X) и модели (Y).

Таблица 2

Среднее значение и среднеквадратичное отклонение разницы атмосферного давления модели Рм и дрифтера Рдр

Дрифтер, номер	Среднее значение (Рм – Рдр), мб	СКО (Рм – Рдр), мб
47603	–1,4	0,86
47604	–1,1	0,85
47605	–1,2	1,03
47606	–1,3	0,93
47607	–1,3	0,89
47608	–1,0	0,89



Р и с. 5. Спектры давления дрифтера № 47605 и данных модели, осредненных по всему морю.

Анализ расхождений между измерениями давления и данными модели позволяет предположить, что при перепаде атмосферного давления более 5 мб/сутки или при переходе через фронтальную зону с градиентом около 0,05 мб/км численная модель систематически занижает значения атмосферного давления, при этом в моменты наиболее резких изменений давления максимальные отличия были меньше на 3 – 5 мб.

Заключение. В целом следует отметить, что региональная атмосферная численная модель Черного моря (http://vao.hydrophys.org) удовлетворительно воспроизводит поля атмосферного давления на уровне моря с погрешностью не более 0,85 – 1,03 мб, что в пределах точности датчика давления на дрифтере (1мб), и систематически занижает значения давления в среднем на 1,2 мб (табл. 2). Однако при этом получены высокие коэффициенты корреляции от 0,94 до 0,97 между измерениями и данными модели по всей группе из шести дрифтеров. Анализ расхождений между измерениями давления на дрифтерах и данными модели позволяет предположить, что при перепаде более 5 мб/сутки или при переходе через фронтальную зону с градиентом около 0,05 мб/км модель занижает данные атмосферного давления на 3 – 5 мб. Результаты работы и разработанная методика сравнения данных на основе использования дрифтерной информации могут быть пригодны для специалистов в области морских прогнозов и мониторинга.

Автор выражает свою благодарность ведущему научному сотруднику отдела взаимодействия океана и атмосферы МГИ НАН Украины д.ф.-м.н. Шокурову М.В. за предоставленные данные региональной модели атмосферы и консультации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мотыжев С.В.* Исследование поверхностной циркуляции в Черном море с помощью дрейфующих буев со спутниковой связью // Морской гидрофизич. журнал. – 1998. – № 6. – С. 65 – 71.
2. *Толстошеев А.П., Лунев Е.Г.* Измеритель атмосферного давления для SVP-B дрифтеров // Вестник СевГТУ. Сб. Информатика, электроника, связь: – Севастоп. гос. техн. ун-т. – 2002. – Вып. 41 – С. 144 – 148.