

Е.Е.Лемешко*, С.В.Герасимова**

*Севастопольский Национальный технический университет, г.Севастополь

**Черноморский филиал Московского государственного университета, г.Севастополь

ВЕРИФИКАЦИЯ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПО ДАННЫМ РЕ-АНАЛИЗА НА ОСНОВЕ ДРИФТЕРНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ

В последнее время наблюдается бурное развитие оперативных моделей прогноза метеорологических полей как глобальных, так и региональных. Для улучшения качества прогноза используется в том числе и усвоение данных метеорологических наблюдений на метеорологических постах. Однако качество ре-анализа атмосферных полей над акваторией Черного моря по результатам численного моделирования оценить достаточно трудно. Цель данной работы заключается в сравнении данных ре-анализа атмосферного давления региональной модели высокого разрешения для региона Черного моря с измерениями атмосферного давления по данным дрейфтерных наблюдений. Для этого использовались данные шести дрейфтеров, запущенных в мае 2004 г. в северо-западной части моря. В работе приводятся статистические характеристики полей атмосферного давления, графики сравнения давления вдоль трасс движения дрейфтеров, оценки средних значений и стандартных отклонений для разницы модельных и дрейфтерных данных. В целом следует отметить, что атмосферная модель воспроизводит поля атмосферного давления на уровне моря с погрешностью не более 1 мб, и систематически занижает значения давления в среднем на 1,2 мб. Результаты работы и разработанная методика оценки качества полей давления могут быть пригодны для специалистов в области морских прогнозов и мониторинга.

Ключевые слова: *дрейфтер, ре-анализ атмосферного давления, валидация численных моделей.*

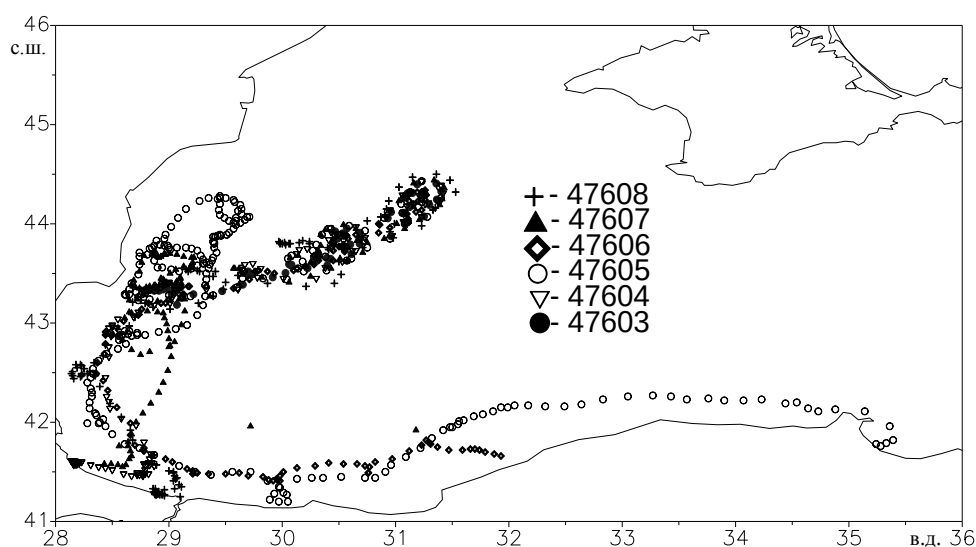
Для решения задач оперативного прогноза погоды всё в большей мере используются региональные численные модели с ассимиляцией данных об атмосферных процессах, которые измеряются и накапливаются на сети наземных метеорологических станций. Естественным образом встает вопрос о качестве прогноза погоды над акваторией моря. Поэтому цель данной работы заключается в сравнении данных ре-анализа атмосферного давления региональной численной модели высокого разрешения 10×10 км для Черного моря (<http://vao.hydrophys.org>) с измерениями атмосферного давления поверхностными дрейфующими буями. Программа дрейфтерных наблюдений для Черного моря выполняется с 1998 г. по настоящее время, всего было запущено около восьмидесяти дрейфтеров различных модификаций [1]. Для нас представляли интерес дрейфтеры SVP-B с датчиком измерения атмосферного давления, характеристики которого приведены в табл.1. Из базы данных поверхностных дрейфтеров был выбран наиболее репрезентативный эксперимент – одновременный запуск шести поверхностных SVP-B дрейфтеров в мае 2004 г. в северо-западной части моря (рис.1). Анализ основных технических характеристик дрейфтеров [1, 2] показал, что именно канал измере-

Т а б л и ц а 1. Характеристики датчика давления дрейфтера.

диапазон, мб	разрешение, мб	точность измерения, мб
850 – 1054,7	0,1	$\pm 1,0$

ния атмосферного давления удовлетворяет достаточно высоким требованиям, обеспечивающим погрешность измерений не более 1 мб в диапазоне температур от минус 20 до 50 °С и в диапазоне значений давления от 850 до 1054,7 мб, что позволяет перевозить бародрейтеры самолетом и производить авиационную развертку этих систем, что приводит к первоначальному погружению дрейфтера на определенную глубину (табл.1). Кроме того, опыт эксплуатации показал, что работоспособность бародрейтеров сохраняется в условиях ударных и вибрационных нагрузок [2]. Данные атмосферного давления региональной численной модели выбирались вдоль трассы движения дрейфтера в синхронные моменты времени в узле сетки 10 × 10 км, ближайшем на данный момент к положению соответствующего дрейфтера.

Анализ данных. Вкратце охарактеризуем пространственно-временную изменчивость полей атмосферного давления по данным ре-анализа над Черным морем в период дрейтерного 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 2004 г. 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

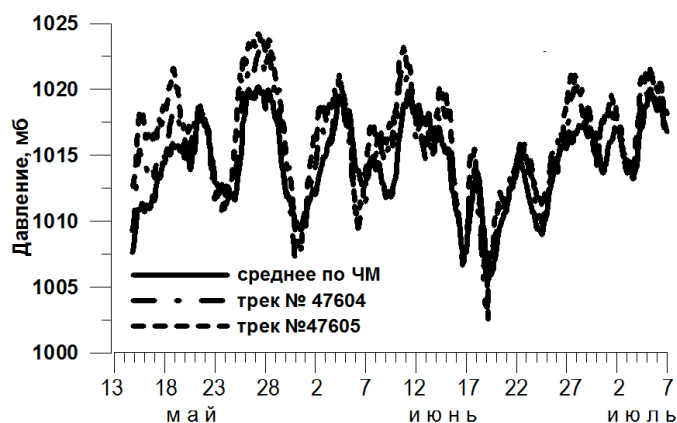


Р и с. 1. Траектории шести дрейфтеров № 47603 – 47608 через каждые десять отсчетов по времени с мая по октябрь 2004 г. Центр области запуска всех дрейфтеров около (44,3 с.ш., 31,25 в.д.).

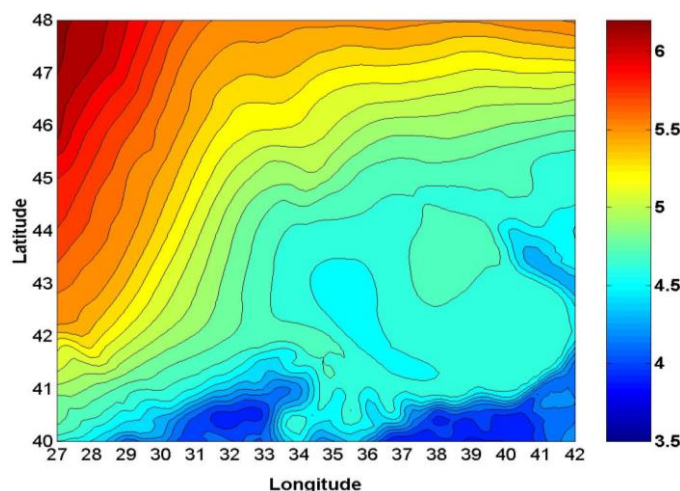
от 1011 до 1015,5 мб, а СКО было в диапазоне от 2,5 до 4 мб, область максимальных значений СКО находилась в северо-западной и восточной частях моря. Характер временной изменчивости поля атмосферного давления, осредненного по всему Черному морю, демонстрируется на рис.2. Характерный период временной изменчивости среднего по морю поля давления составил 7 – 10 дней, а размах колебаний менялся от 1002,5 до 1025 мб (рис.2). На рис.2 в качестве примера также приведены данные атмосферного давления модели, выбранные вдоль траекторий движения дрейфтеров № 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 дрейфтеров (рис.1) наблюдаются отличия на 2 – 5 мб (рис.2). В период максимального расхождения между данными модели и дрейфтеров 15 – 20 мая 2004 г. кластер дрейфтеров находился в области сильного шторма в западной части моря. Характер изменчивости атмосферного давления для всей акватории моря дает пространственное распределение среднеквадратичного отклонения атмосферного давления за май 2004 г. на рис.3. Как видно из рис.3, область максимальной изменчивости 5,5 – 6 мб в этот период как раз находилась в северо-западной части моря.

Данные атмосферного давления модели были сформированы на сетке с пространственным разрешением 10×10 км и временной дискретностью 1 ч. Число измерений дрейфтера 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 дискретизацией 1 ч. Эта процедура применялась для всех 6 дрейфтеров. Ошибки интерполяции составили не более 0,1 мб. Далее сформированные ряды давления сравнивались с атмосферным давлением по данным модели вдоль траектории движения дрейфтеров. При сравнении выбирался ближайший в данный момент времени к дрейфтеру узел сетки. В качестве примера на рис.4 приведено сравнение модельных и измеренных значений давления дрейфтера № 47605. Этот дрейфтер проработал дольше всех из кластера дрейфтеров, поэтому он использовался для всех иллюстраций.

В целом результаты сравнения модельных данных и измерений давления дрейфтерами удовлетворительны. Модель систематически занижает зна-



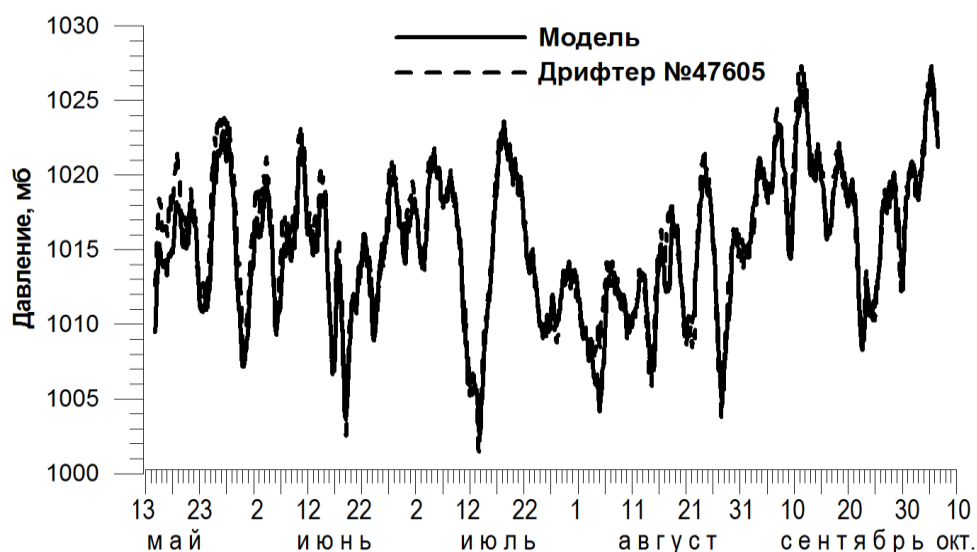
Р и с . 2 . Атмосферное давление по данным модели: осредненное по всему Черному морю и вдоль трасс дрейфтеров.



Р и с . 3 . Стандартные отклонения атмосферного давления для акватории Черного моря за май 2004 г.

чение 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 дрейфтеров приведены в табл.2. Все полученные оценки СКО этой разницы по группе из шести дрейфтеров меньше значений точности измерения датчика давления дрейфтера 1 мб (табл.1).

Конкретно для дрейфтера № 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, 4). Гистограммы распределения разницы атмосферного давления по данным модели и измерений на дрейфтерах № 47606, № 47605 и соответствующие кривые нормального распределения приведены на рис.5.



Р и с . 4 . Атмосферное давление вдоль трассы дрейфтера № 47605.

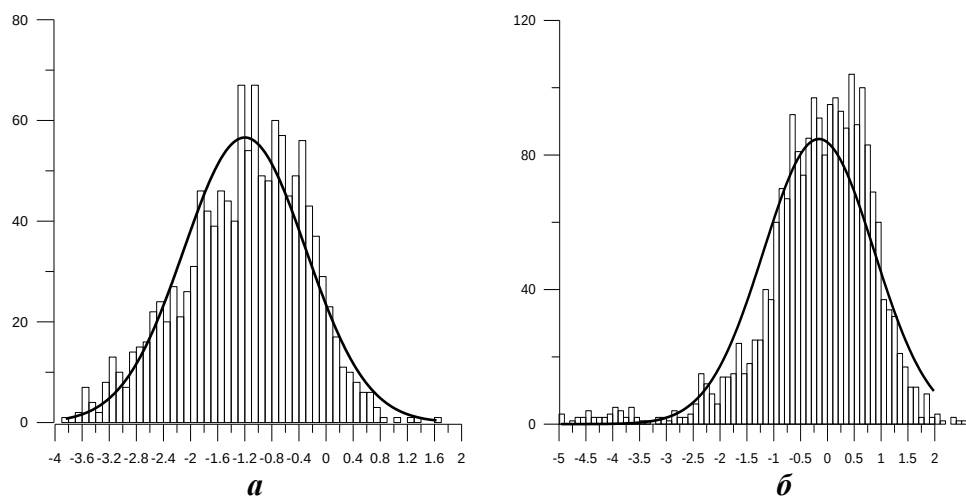


Рис. 5. Гистограмма распределения разницы атмосферного давления по данным модели и измерений на дрейфтере: № 47606 (а); № 47605 (б) и кривая нормального распределения.

Тем не менее, корреляция между данными для дрейфтера № 47605 составила 0,94, а наличие линейной регрессии показано на рис.6. Уравнение регрессии для дрейфтера № 47605 имеет вид: $Y = 0,95 \cdot X + 52,4$, где X – данные измерений, Y – данные модели (рис.6).

Для остальных дрейфтеров корреляция составила от 0,94 до 0,97, что также позволило оценить коэффициенты линейной регрессии.

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 4 – 5 мб.

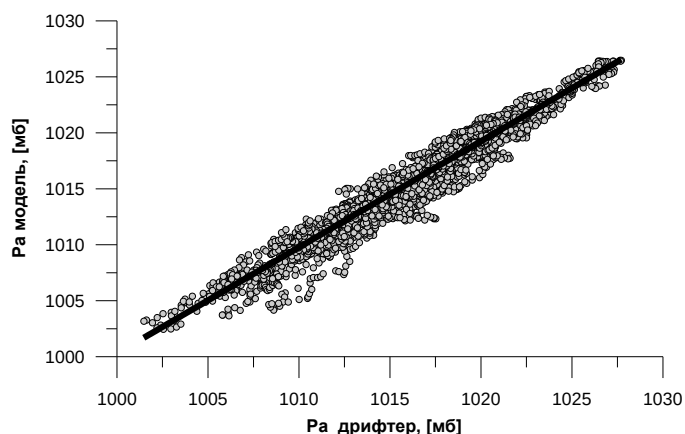


Рис. 6. Линейная регрессия атмосферного давления по данным дрейфтера № 47605 (X) и модели (Y).

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 дрейфтере (1 мб). Однако следует отметить систематическое занижение значения модельного

давления в среднем на 1,2 мб (табл.2), при этом получены высокие коэффициенты корреляции от 0,94 до 0,97 между измерениями и данными модели по всей группе из шести дрейфтеров.

Анализ расхождения между измерениями давления на дрейфтерах и данными модели позволяет предположить, что при перепаде более 5 мб/сут или при переходе через фронтальную зону с градиентом около 0,05 мб/км данные атмосферной модели ниже данных измерений атмосферного давления на 3 – 5 мб, что, по-видимому, может быть связано как с инерционностью датчика давления на дрейфтере, так и с ошибками моделирования.

Результаты работы и разработанная методика сравнения данных на основе использования дрейфтерной информации могут быть пригодны для специалистов в области морских прогнозов и мониторинга.

Авторы выражают свою благодарность ведущему научному сотруднику отдела взаимодействия океана и атмосферы Морского гидрофизического института 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 гидрофизический журнал. – 1998. – № 6. – С.65-71.
2. Толстошеев А.П., Лунев Е.Г. Измеритель атмосферного давления для SVP-В дрейфтеров // Вестн. СевГТУ. Информатика, электроника, связь. – Севастополь: Севастоп. гос. техн. ун-т, 2002. – вып.41. – С.144-148.

Таблица 2. Среднее значение и средне-квадратичное отклонение разницы атмосферного давления модели P_m и дрейфтера $P_{др}$.

дрейфтер, №	среднее ($P_m - P_{др}$), мб	СКО ($P_m - P_{др}$), 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

Материал поступил в редакцию 21.10.2010 г.