

МОДЕЛИРОВАНИЕ БРИЗОВОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

В.В. Ефимов, А.В. Крупин

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: Volx2007@ya.ru

В статье приводятся результаты численного моделирования бризовой циркуляции в Черноморском регионе с помощью мезомасштабной модели атмосферной циркуляции MM5 с высоким пространственным разрешением.

Введение. Бризовая циркуляция является результатом температурного контраста между морем и окружающей сушей, изменяющегося по величине и знаку в течение суток. Дневной бриз, называемый морским бризом, связан с более интенсивным нагреванием суши по сравнению с морем, подъемом нагретого воздуха над прибрежными сухопутными районами, притоком на сушу влажного и более холодного морского воздуха в нижнем слое атмосферы и, соответственно, возвратным течением воздуха в верхних слоях пограничного слоя атмосферы и его последующего опускания над морем. В ходе дневного прогрева развитие морского бриза над сушей сопровождается формированием фронта, распространяющегося на значительные расстояния от берега (до 100–300 км) и вследствие бароклинной неустойчивости развитием волновых движений в области больших вертикальных градиентов скорости (в зоне перехода между прямым и возвратным течениями).

Ночной бриз, обычно называемый сухопутным, противоположен дневному. Температурный контраст возникает в силу большей тепловой инерции верхнего слоя моря: ночью в результате радиационного выхолаживания температура суши опускается ниже температуры поверхности моря и

возникает циркуляционная ячейка противоположная дневной. Интенсивность морского и сухопутного бриза зависит в первую очередь от величины разницы дневных иочных температур приземного и приводного воздуха, которые зависят и от сезона года и от региональных особенностей зоны суши-море. Но, как правило, эти две фазы суточного изменения бриза несимметричны: ночной бриз развивается слабее дневного. Основной причиной этой асимметрии является различие стратификации пограничного слоя: устойчивая стратификация пограничного слоя ночью подавляет развитие бриза, а неустойчивая стратификация днем способствует интенсификации морского бриза [1].

Методика исследований. Для моделирования этого явления была использована мезомасштабная модель атмосферной циркуляции MM5 [2]. Эта модель используется для моделирования мезомасштабных процессов в атмосфере ведущими мировыми атмосферными исследовательскими центрами, в том числе, в течении ряда лет она успешно работает в МГИ. На вход модели подавался оперативный анализ NCEP/NCAR с горизонтальным разрешением $1^\circ \times 1^\circ$. Три домена на выходе модели с разрешением 27,9 и 3 км.

На рисунках 1, 2 приведено распределение вертикальной и зональной скорости над Крымским полуостровом, усреднённое за месяц с вычетом усреднённого восьмичасового поля для выделения именно бризовой составляющей ветра. Отчётливо видна бризовая циркуляция, как для дневного, так и для ночного времени суток.

Результаты и их обсуждение. На рисунках 3, 4 приведены вертикальные разрезы по долготе 34.1°в.д. , показывающие вертикальную структуру бризовой циркуляционной ячейки. На разрезах показаны поля вертикальной и зональной скорости усреднённые за месяц с вычетом усреднённого восьмичасового поля. На разрезах явно видны различия в вертикальных структурах дневного и ночного бризов.

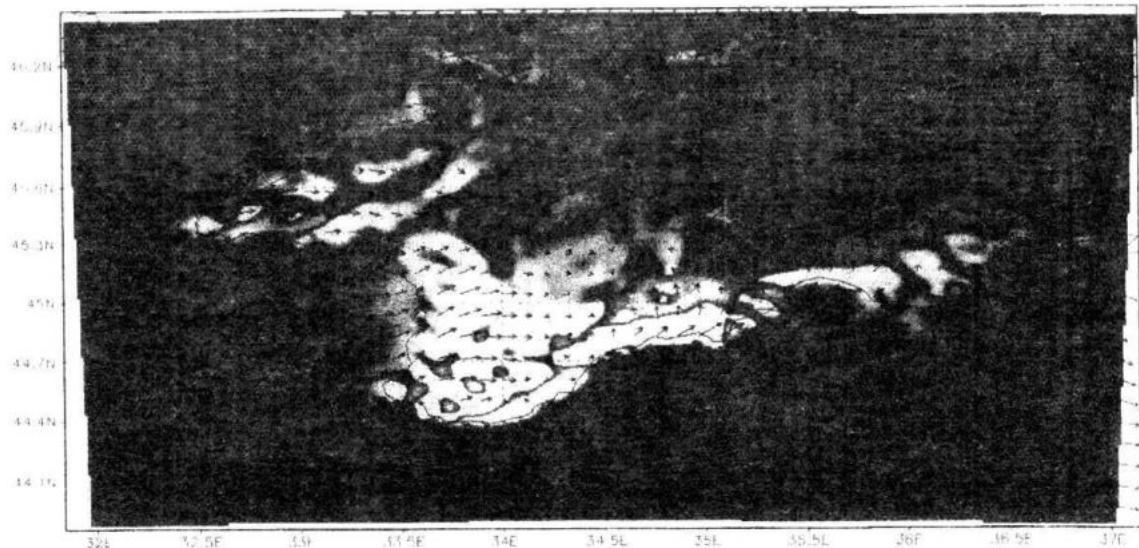


Рисунок 1 – Бризовая циркуляция над Крымским полуостровом за август 2007.
Вертикальная и горизонтальная скорости. День

Сравнение полей скорости дневного и морского бриза показывает, что действительно они носят явно несимметричный характер. Хотя пространственные структуры приповерхностного ветра для них близки в прибрежной области (с учетом противоположных знаков), но по величине дневной бриз достигает большего развития, чем сухонутный. Так скорости дневного бриза в прибрежных областях достигают 4–6 м/с (до 10 м/с в области прибрежных струйных течений у Кавказа, и 8 м/с около Крымских гор), то для ночного бриза лишь 2–3 м/с (5 м/с около Крыма), а струйного течения вблизи побережья Кавказа вообще не возникает [3].

Характерно также, что дневной бриз не только более интенсивный, но и распространяется на большие расстояния от берега. Почти вся акватория моря днем охвачена бризовой циркуляцией. Во внутренней области моря $\operatorname{div} \vec{V}$ положительная (на фоне естественного шума) и составляет величину $(1\text{--}2)\cdot10^{-5} \text{ с}^{-1}$. Это же относится и к небольшому Азовскому морю, где во внутренней области величины $\operatorname{div} \vec{V}$ составляют $(3\text{--}5)\cdot10^{-5} \text{ с}^{-1}$, а скорости бризового ветра (2–5) м/с.



Рисунок 2 – Бризовая циркуляция над Крымским полуостровом за август 2007.
Вертикальная и горизонтальная скорости. Ночь

Как видно из численных характеристик, для всей западной части моря она отрицательная (антициклоническая завихренность), а для восточной особенно вблизи побережья наблюдается положительная величина завихренности. Это согласуется с результатами работ [4,5], где по данным реанализа NCEP/NCAR был рассмотрен сезонный цикл завихренности приводного ветра, связанный с температурным контрастом суша-

море, и показано, что в летний период над Черным морем возникает антициклоническая завихренность приводного ветра за исключением крайней восточной части акватории моря, где сохраняется циклоническая завихренность, связанная с влиянием высоких Кавказских гор. В результате сезонный цикл завихренности может служить причиной сезонной изменчивости основного черноморского течения.

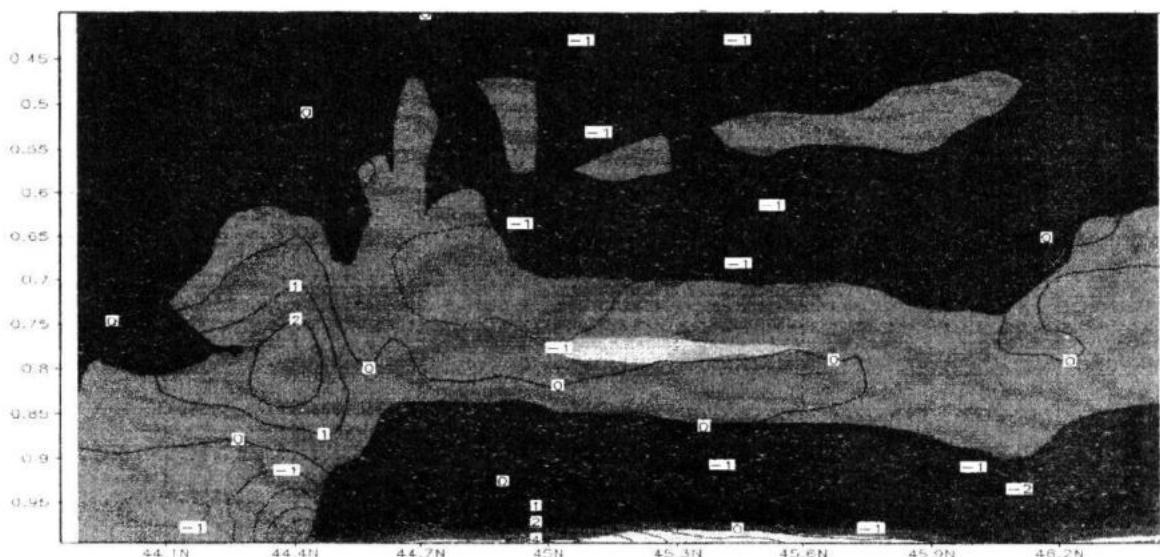


Рисунок 3 – Вертикальный разрез по долготе 34.1° . Ночь

Отметим, что в силу методики выделения близовой циркуляции [6] указанные усредненные оценки являются месячно осредненными величинами. Индивидуальные

события мы здесь не рассматриваем -- они могут значительно различаться от среднемесячных, в первую очередь, из-за влияния фоновой синоптической обстановки.

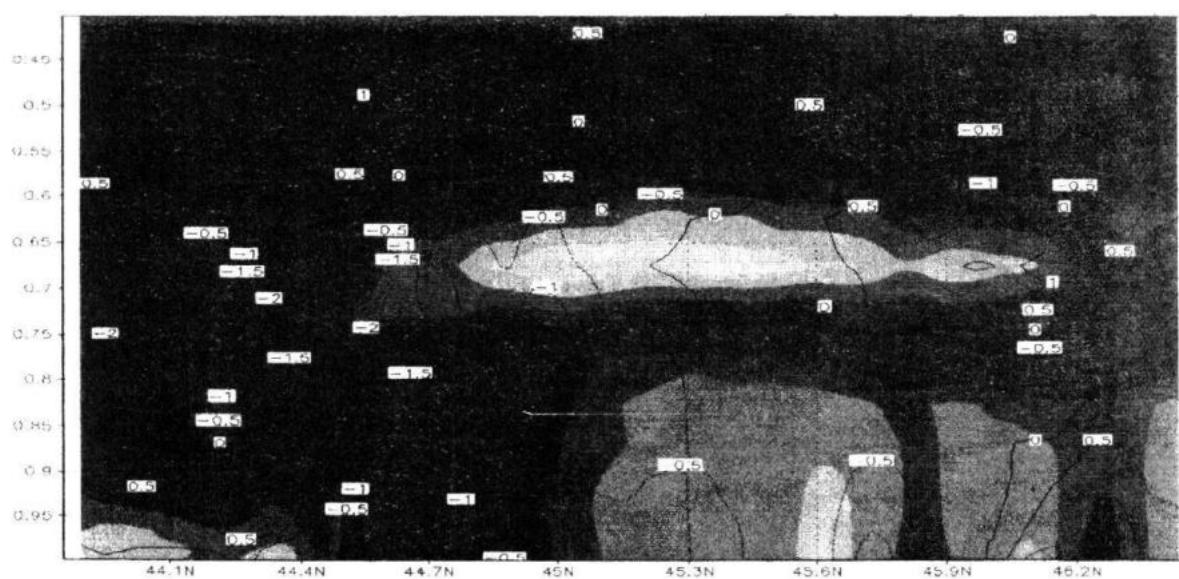


Рисунок 4 – Вертикальный разрез по долготе 34.1° . День

Заключение. С использованием региональной модели MM5 был выполнен расчет поля атмосферной циркуляции за август 2007 г. с высоким пространственным разрешением. Методика композитного анализа за счет фильтрации синоптического «шума» позволила выделить осредненные поля бризовой циркуляции и исследовать их развитие в ходе суточного цикла.

Пространственная структура бризовой циркуляции и само развитие морского и сухопутного бриза в течение суток определяется в первую очередь конфигурацией береговой черты и орографией прибрежных областей суши.

Для прямолинейного берега и почти плоского побережья развитие дневного бриза сопровождается увеличением скорости приповерхностного ветра с постепенным изменением его направления по часовой стрелке. Вектор скорости ночного бриза также вращается, но сами величины модуля скорости значительно меньше дневных. Асимметрия дневного и ночного бриза кроме их интенсивности заключается также в меньшей высоте прямой ячейки бризовой циркуляции. Эта асимметрия в суточном ходе характерна для всех пунктов побережья Черного моря (по крайне мере в летний период года) [7].

В настоящее время численное моделирование бризовой циркуляции с высоким пространственным разрешением выполняется на основе данных реанализа за период 1970 – 1990 гг. Обобщение полученных данных позволит детально описать общие характеристики циркуляции, связанные с бризообразующими факторами, предложить схемы районирования побережья Украины и в целом Черноморского региона.

Л и т е р а т у р а

1. M.K. Mak, J.E. Walsh. On the Relative Intensiviti of Sea and Land Breezes. *J. Atmos. Sci.* – 1976. – V. 39. – P. 242–251.
2. A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5) NCAR/TN-398+STR, by Georg Grell, Jimy Dudhia, and David Stauffer
<http://www.mmm.ucar.edu/mm5/doc1.html>
3. J.E. Simson “Diurnal Changes in Sea-Breezes Direction” *J.Appl.Met.* – 1996. – V. 35. – P. 1166-1169.
4. R.J. Wichnink Kruit, A.A. Holtslag, A.B.C. Tijm. Scaling of the Sea-Breezes strength with observations in the Netherlands. *Boundary-layer Met.* – 2004. – V. 112. – P. 369–380.
5. A. Porson, D.G. Steyn, G. Schayes. Sea-Breezes scaling from numerical model Simulation, part II: Interaction Between the Sea breezes and Slope Flows. *Boundary-layer Met.* – 2007. – V. 122. – P. 31–41.
6. В.В. Ефимов, М.В. Шокуров, В.С. Барабанов. Физические механизмы возбуждения ветровой циркуляции внутренних морей. *Изв. РАН. Физика атм. и океана* – 2002. – т. 38. – № 2. – С. 247–258.
7. Р.Г. Барри “Погода и климат в горах.” Л. Гидрометиздат. – 1984, –312 с.