

*А.С. Гаврилов, Н.Ф. Донг, Н.Д. Хи*

## **О ВОЗМОЖНОСТЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОСТРОФИЧЕСКОГО СООТНОШЕНИЯ В ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЕ**

*A.S. Gavrilov, N.F. Dong, N.D. Hi*

## **THE POSSIBILITY OF USING GEOSTROPHICAL RATIOS IN THE TROPICAL ZONE**

*Представлены результаты сравнительного анализа фактических (по данным реанализа атмосферных процессов) и рассчитанных на основании геострофического соотношения значений скорости ветра на уровне 850 гПа изобарической поверхности в тропической зоне для территории Вьетнама и прилегающего участка морской поверхности. Показано, что начиная с 7° с.ш. связь между анализируемыми величинами оказывается весьма устойчивой (коэффициент корреляции превышает величину 0,6), что свидетельствует о приближенном выполнении геострофического соотношения для указанной области и, следовательно, о формировании здесь типичного для умеренных широт экмановского пограничного слоя атмосферы.*

*Ключевые слова: атмосферный пограничный слой, геострофическое соотношение, тропическая метеорология.*

*Presents the results of the comparative analysis of actual (based on reanalysis of the atmospheric processes) and calculated based on the ratio of geostrophic wind speeds at 850 hPa isobaric surface in the tropical zone for the territory of Vietnam and adjacent area of the sea surface. It is shown that since the latitude 7° N. the relationship between the analyzed variables is very stable (the correlation coefficient exceeds 0,6), which indicates the approximate implementation of the geostrophic relation for a specified area and, consequently, on the formation here is typical for temperate latitudes atmospheric boundary layer.*

*Key words: planetary boundary layer, geostrophic relation, tropical meteorology.*

Как известно, геострофическое соотношение связывает вектор скорости ветра с вектором градиентом геопотенциала в свободной атмосфере при условии установившегося потока воздуха над горизонтально-однородной поверхностью (так называемые условия «прямолинейных изобар»), когда сила барического градиента уравновешивается силой Кориолиса (например, [1, 2]):

$$U_G = -\frac{g}{l} \frac{\partial H}{\partial y}, \quad V_G = \frac{g}{l} \frac{\partial H}{\partial x}, \quad (1)$$

где  $U_G, V_G$  — компоненты геострофического ветра в декартовой системе координат (для определенности ось  $x$  направлена на восток, ось  $y$  — на север);  $H$  — геопотенциал;  $\rho$  — плотность воздуха;  $l = 2\omega \sin \varphi$  — параметр Кориолиса ( $\varphi$  — широта);  $g$  — ускорение свободного падения.

На практике оказывается, что соотношения (1) в умеренной зоне выполняются весьма точно (погрешность в пределах 10–20 %) также и в условиях, отличных от «прямолинейных изобар». Вычисление такого рода «градиентного ветра» — весьма распространенное приближение в прикладной метеорологии, позволяющее только по приземному полю давления или полю геопотенциала рассчитать скорость и направление ветра в свободной атмосфере.

Однако только этим обстоятельством роль этого эффекта не ограничивается: в этом случае формируется так называемый «экмановский пограничный слой атмосферы» с закономерным поворотом ветра с высотой (в Северном полушарии — вправо, в Южном — влево), что заметно упрощает теорию атмосферного пограничного слоя (АПС) в целом. Существенно, что множество разного рода используемых на практике эмпирических методик, таких, например, как распространенная гауссова модель рассеяния примесей [3, 4], опираются, во многом, на эмпирические соотношения, полученные в умеренной зоне с учетом упомянутых закономерностей АПС.

Очевидно, что при обращении силы Кориолиса в ноль (на экваторе  $\varphi = 0$ ) такого рода простота описания АПС рушится, поскольку сила барического градиента должна компенсироваться множеством других эффектов (в первую очередь, адвекцией и конвекцией). В этой ситуации возникает закономерный вопрос: в какой степени и в каком диапазоне широт возможно использование закономерностей экмановского пограничного слоя в тропиках, а следовательно, и возможность переноса на тропики закономерностей АПС, установленных для умеренной зоны?

Для ответа на этот вопрос нами была исследована статистическая взаимосвязь компонент скорости ветра на высоте около 1,5 км в диапазоне широт от 0 до 24° с.ш. для акватории Южно-Китайского моря вблизи берегов республики Вьетнам (восточная граница — 110° в.ш.). Расположение области исследования представлено на рис. 1.

В качестве исходных данных для решения поставленной задачи использовались данные реанализа атмосферных процессов применительно к изобарической поверхности 850 гПа (высота около 1,5 км) Национального центра по прогнозированию окружающей среды (NCER, США). Для этой цели был создан архив компонент скорости ветра и высоты геопотенциала для сроков 03, 09, 15 и 21 ч за период с 01.01.2006 по

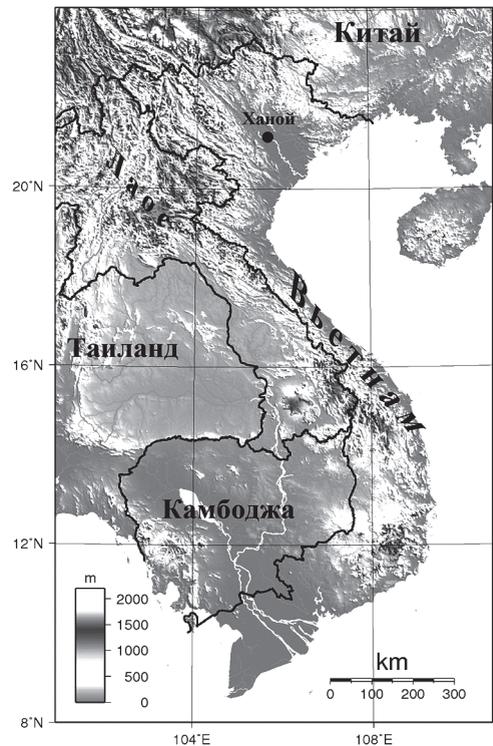


Рис. 1. Область исследования для оценки выполнимости геострофического приближения в тропической зоне

31.12.2009 с пространственной дискретностью 2,5 дуговых градуса. Для расчета компонент геострофического ветра использовались при этом соотношения (1).

На рис. 2 приведен пример корреляционного графика для рассчитанных таким образом модуля скорости ветра и аналогичной величины, определяемой по данным реанализа. На рис. 3 приведены сводные широтные зависимости рассчитанных коэффициентов корреляции для долгот 105–115°.



Рис. 2. Пример корреляционного графика взаимосвязи, рассчитанной с использованием геострофического соотношения скорости ветра на уровне 850 гПа и данных реанализа для точки с координатами 12°15'с.ш. и 109°11'в.д. (коэффициент корреляции 0,79). Число значений — 2900 за период 2006–2009 гг.

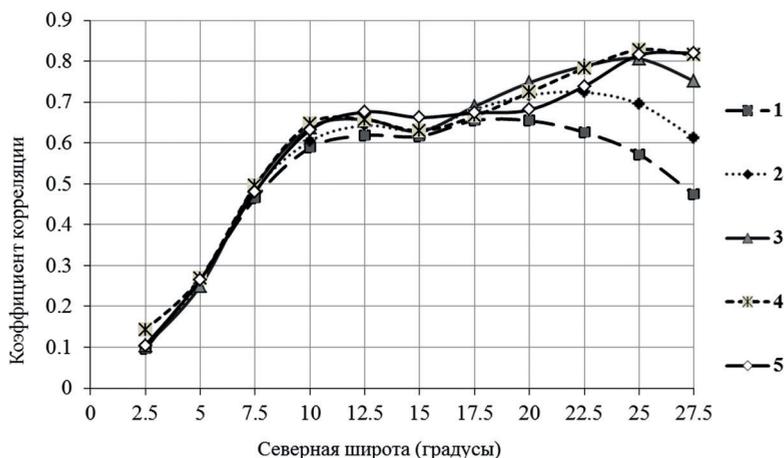


Рис. 3. Широтные зависимости коэффициентов корреляции для различной долготы: 1 — 105°; 2 — 107,5°; 3 — 110°; 4 — 112,5°; 5 — 115° в.д.

Как можно видеть из рис. 3, для широт севернее  $7,5^\circ$  с.ш. геострофическое соотношение, в целом, достаточно хорошо выполняется (коэффициенты корреляции на уровне 0,65). Следует отметить, однако, что для условий суши (долгота  $105$  и  $107,5^\circ$  в.д.) выполнимость этого соотношения ухудшается и особенно оказывается плохой севернее  $20^\circ$  с.ш. Подобная ситуация определяется, скорее всего, влиянием на выполнимость геострофического соотношения горных массивов (см. рис. 1) как на территории Вьетнама (особенно на широтах  $12\text{--}15^\circ$  с.ш.), так достаточно высоких и протяженных горных массивов севернее  $20^\circ$  с.ш.

Для оценки влияния на выполнимость геострофического соотношения сезонного фактора отметим, что для рассматриваемой области характерен муссонный климат с выраженными летним (дождливым) и зимним (сухим) сезонами. Первый, как правило, приходится май – октябрь, второй – на ноябрь – апрель.

На рис. 4 представлены широтные зависимости для того и другого сезона для долготы  $107,5^\circ$  в.д.

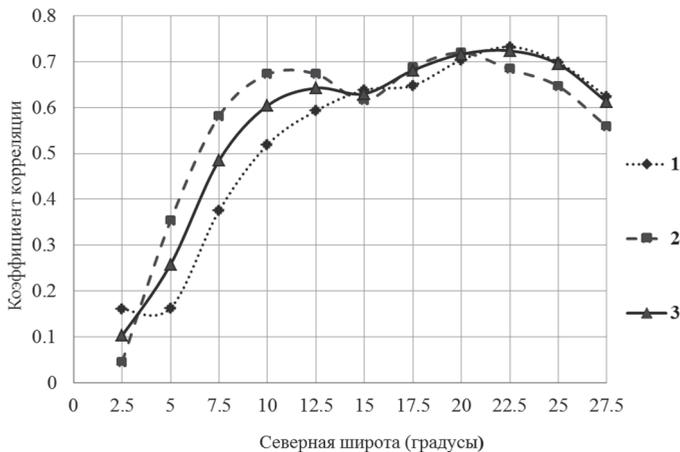


Рис. 4. Широтные зависимости коэффициентов корреляции для сухого (1), влажного (2) сезонов и в целом за год (3) для долготы  $107,5^\circ$  в.д.

Как можно видеть из данного рисунка, влияние сезонного фактора не столь значительно, как можно было это ожидать. В сухой сезон (зимний муссон), когда ветер направлен с суши на море и пересекает горные хребты в диапазоне широт  $7,5\text{--}15^\circ$  с.ш., коэффициент корреляции оказывается ниже (около 0,5), чем в дождливый сезон (летний муссон), когда ветер направлен с моря на сушу (около 0,7).

Подводя итоги проведенного исследования, можно с уверенностью утверждать, что почти для всей территории Вьетнама в диапазоне от 7 до  $20^\circ$  с.ш. геострофические соотношения выполняются с достаточной точностью (хотя и несколько хуже, чем в умеренной зоне), а значит и закономерности формирования атмосферного пограничного слоя остаются такими же, как и в областях, для которых справедливы, в частности, методические материалы [4], разработанные для умеренной зоны.

### ***Литература***

1. *Матвеев Л.Т.* Курс общей метеорологии: Физика атмосферы. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 751 с.
2. *Педлоски Дж.* Геофизическая гидродинамика. Т. 2 / Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 811 с.
3. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей / Под ред. Ф.Т.М. Ньисталта и Хю Ван Допа / Пер. с англ. — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 350 с.
4. Руководство МАГАТЭ по безопасности № 50-SG-S3 «Учет дисперсионных параметров атмосферы при выборе площадок для атомных электростанций». — Вена, 1982.