

ВЛИЯНИЕ НА БАРОКЛИННИ РЕЖИМИ ВЪРХУ ЛАГРАНЖЕВИТЕ ДИФУЗИОННИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА МИГНОВЕН ИЗТОЧНИК В ЕКМАНОВ ГРАНИЧЕН СЛОЙ

ЕМИЛ ЧОЛАКОВ

Катедра „Метеорология и геофизика“

Емил Чолаков. ВЛИЯНИЕ НА БАРОКЛИННИ РЕЖИМИ ВЪРХУ ЛАГРАНЖЕВИТЕ ДИФУЗИОННИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА МИГНОВЕН ИЗТОЧНИК В ЕКМАНОВ ГРАНИЧЕН СЛОЙ

Въз основа на разработените в [1,2] дифузионни модели (базиращи се на метода на моментите) се дава едно обобщение на класическата задача за дифузия в баротропен екманов граничен слой [3]. **Анализирани са ефектите на бароклинност върху основни лагранжеви и дифузионни характеристики.** Сравненията на тези резултати с баротропния случай показват, че бароклинните корекции са твърде съществени не само върху траекториите, но и върху другите параметри, като дисперсии, асиметрия на разпределението на примеса и др.

Emil Cholakov. INFLUENCE OF THE BAROCLINIC REGIMES ON LAGRANGIAN DIFFUSION CHARACTERISTICS OF INSTANT SOURCE IN ECKMAN BOUNDARY LAYER

On the basis of the developed in [1, 2] diffusion models (based on the method of moments), it is given a generalization of the classic problem for diffusion in barotropic **Eckman** boundary layer [3]. The effects of baroclinicity on the basic Lagrangian diffusion characteristics have been analyzed. The comparison of these results with that from the barotropic case shows that the baroclinic effects are rather significant not only on the trajectories, but and on the other parameters, like dispersions, skewness of the distribution of the admixture and etc.

Keywords: Lagrangian characteristics, method of moments, baroclinic effects

PACS number: 92.10.Lq

1. УВОД

Известно е, че върху лагранжевите характеристики (например траектории, дисперсии), концентрацията и нейното разпределение (например асиметрично) при мигновен точков източник съществено влияние оказват градиентите и завъртането на вятъра с височината в ПГС. Ефектите на градиента на скоростта са изследвани в [4,5]. Класическите работи, в които е изследвано завъртането на вятъра в баротропен екманов граничен слой, са [3,6].

В настоящата работа ще разгледаме как се променят тези резултати, когато баротропните условия се нарушават вследствие на отчитане на бароклините ефекти. В този случай са в сила известните решения за бароклинен екманов слой (оста Ox е избрана по посока на геострофния вятър):

$$\begin{aligned}U(z) &= U_{g0}(1 - e^{-\alpha z} \cos \alpha z) + \lambda_x z, \\V(z) &= U_{g0} e^{-\alpha z} \sin \alpha z + \lambda_y z,\end{aligned}\tag{1}$$

където U_{g0} е модул на геострофния вятър, $\alpha = \sqrt{f/2K}$, K – постоянен с височината коефициент на вертикален турбулентен обмен, f – параметър на Кориолис, λ_x , λ_y са бароклини параметри [7]. Те могат да се представят във вида: $\lambda_x = M \cos \alpha$, $\lambda_y = M \sin \alpha$, $M = (\lambda_x^2 + \lambda_y^2)^{1/2}$, където α е ъгълът между термичния и приземния геострофен вятър. Очевидно при $M = 0$, $\alpha = 0$ имаме баротропния случай.

2. ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА

В рамките на екмановия слой отчитането на бароклините ефекти върху дифузионните процеси се прави въз основа на разработените в [1,2] дифузионни модели за мигновен точков или постояннодействащ източник. Тук ще се спрем на случая на мигновен точков източник. Използваният модел [2] се базира на добре известното следващо от статистическата теория съотношение, разграничаващо хоризонталната C_{hor} и вертикалната C_{00} дифузия:

$$C(x, y, z, t) = C_{00}(z, t)C_{hor},$$

$$C_{\text{hor}} = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\frac{(x-X)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-Y)^2}{2\sigma_y^2}\right). \quad (2)$$

Фигуриращите в (13) лагранжеви характеристики X , Y , σ_x , σ_y имат вида

$$X = \frac{C_{10}}{C_{00}}, \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{C_{20}}{C_{00}} - X^2}, \quad Y = \frac{C_{01}}{C_{00}}, \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{C_{02}}{C_{00}} - Y^2}. \quad (3)$$

където нулевият момент $C_{00}(z, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} C(x, y, z, t) dx dy$ се описва от уравнението на вертикалната турбулентна дифузия

$$\frac{\partial C_{00}}{\partial t} + (w - w_0) \frac{\partial C_{00}}{\partial z} + \tilde{\alpha} C_{00} = \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial C_{00}}{\partial z} \quad (4)$$

при следните гранични и начални условия:

$$k_z \frac{\partial \hat{C}}{\partial z} = (B - w_0) \hat{C} \quad \text{при } z = z_0, \quad k_z \frac{\partial \hat{C}}{\partial z} = 0 \quad \text{при } z = H_T, \quad (5)$$

$$\hat{C} = C_{00}, C_{10}, C_{01}, C_{20}, C_{02},$$

$$C_{00} = \delta(z - h), \quad C_{10} = C_{01} = C_{20} = C_{02} = 0 \quad \text{при } t = 0,$$

а останалите моменти C_{10} , C_{01} , C_{20} , C_{02} се определят чрез числено решение на съответната система уравнения, която ги описва [2].

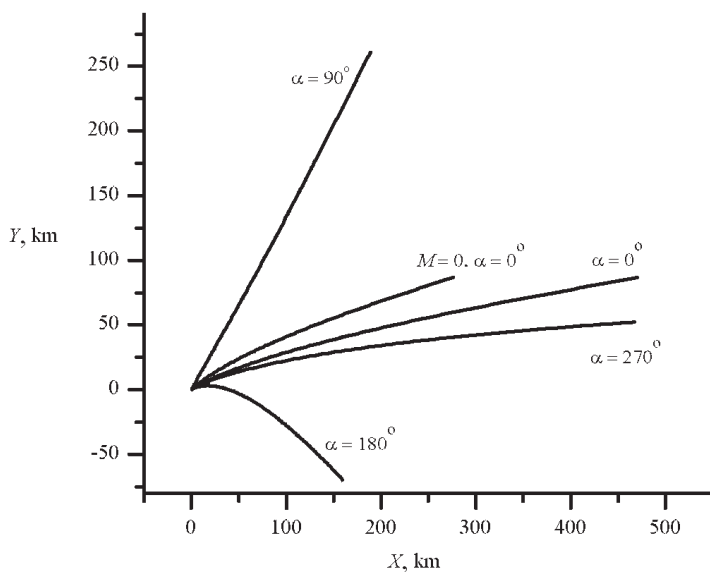
3. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

Изложеният по-горе дифузионен подход се реализира числено в рамките на следната схема: компонентата на вертикалната дифузия C_{00} се определя в съответствие с (4) и (5), а лагранжевите характеристики X , Y , σ_x , σ_y – съгласно (3). Компонентите на скоростта $U(z)$, $V(z)$ се задават съгласно (1). Коефициентът K се задава чрез типична, константна с височината негова стойност. В общия случай зависимостта на K от стратификацията, бароклинността и други параметри в ПГС е определена в [8].

Тук ще разгледаме по-простия случай, когато за K се приема средна типична стойност $K = 10 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, а за $U_{g0} = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Бароклинните параметри се задават както следва: $M = 0,01$ при $\alpha = 0^\circ$ (случай 1), при $\alpha = 90^\circ$

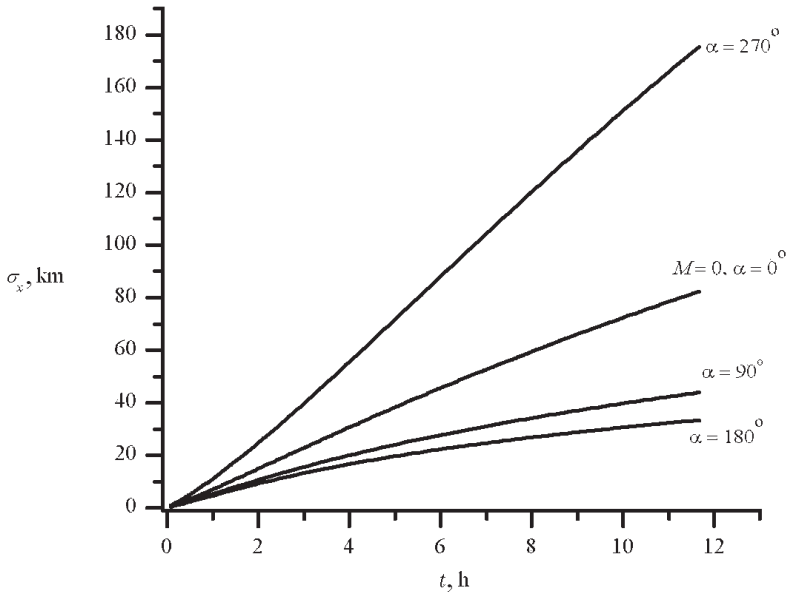
(случай 2), при $\alpha = 180^\circ$ (случай 3), при $\alpha = 270^\circ$ (случай 4). Лесно се преценява, че изброените бароклини случаи обхващат практически целия диапазон на проявление на бароклините фактори.

Резултатите от численото моделиране са демонстрирани на фиг.1–5. На фиг.1 е представена величината $X(Y)$, характеризираща завъртането на хоризонталната траектория на дифундиращия облак от различни фактори в ПГС. Както следва да се очаква, влиянието на бароклинността е много съществено и най-силно изразено при $\alpha = 90^\circ$ и $\alpha = 180^\circ$.

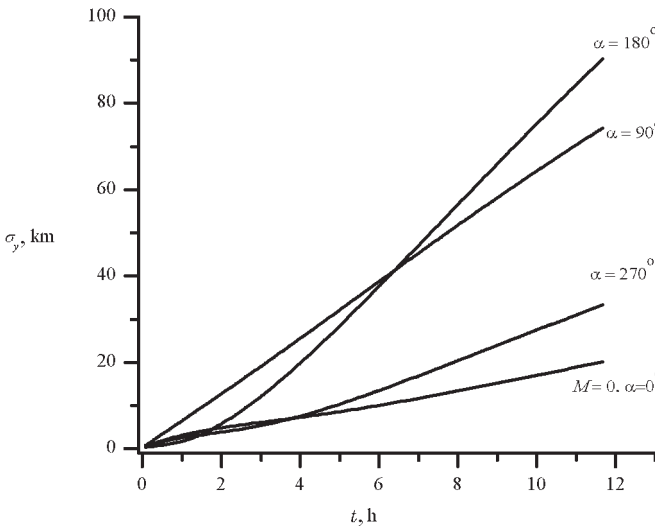


Фиг.1. Влияние на бароклинността за параметри $M = 0,01$ при $\alpha = 0^\circ$ (сл. 1), при $\alpha = 90^\circ$ (сл. 2), при $\alpha = 180^\circ$ (сл. 3), при $\alpha = 270^\circ$ (сл. 4) върху приземната траектория $X(Y)$ на мигновен точков източник с височина $h = 100$ m и сравнение с баротропния случай ($M = 0, \alpha = 0$)

На фиг. 2 и 3 са представени дисперсиите на дифундиращия облак съответно по оста Ox и Oy . Вижда се, че и тук влиянието на бароклините фактори е съществено, но значително по-слабо, отколкото върху траекторията $X(Y)$. Като цяло се вижда, че $\sigma_x > \sigma_y$ за всяко t . Интересно е да се отбележи, че за всички разглеждани случаи $\sigma_y(t)$ е по-голяма от тази за баротропния случай, което е в резултат на по-големите вертикални градиенти на скоростта при отчитане на бароклините фактори. По-сложно е влиянието на бароклинността върху $\sigma_x(t)$, като тук баротропната дисперсия заема междинно положение спрямо бароклините случаи. Асиметрията на вертикалното разпределение на концентрацията



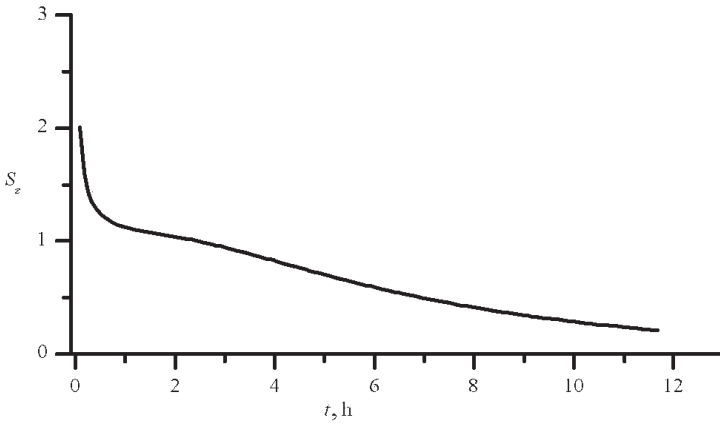
Фиг. 2. Влияние на бароклинността за случаите от фиг. 1 върху дисперсията $\sigma_x(t)$



Фиг. 3. Аналогично на фиг. 2 за дисперсията $\sigma_y(t)$

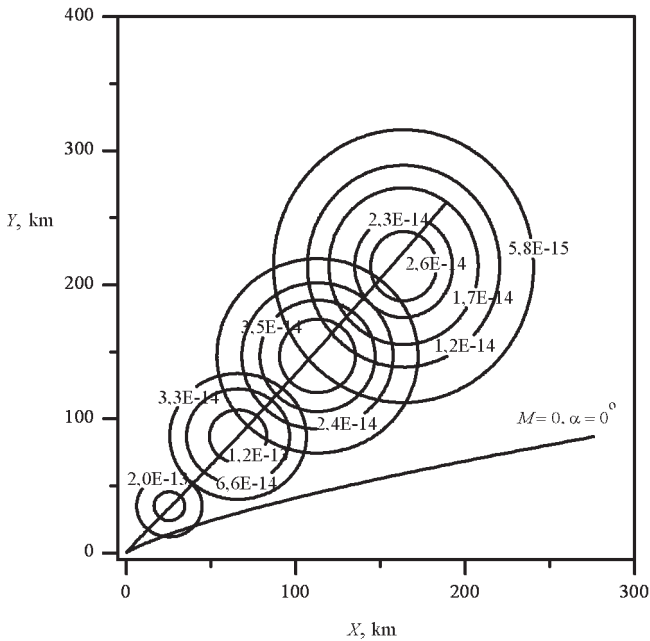
$$S_z = \int_0^{\infty} \frac{C_{00} (z-Z)^{3dz}}{(c_0 \sigma_z^3)}, \quad C_0 = \int_0^{\infty} C_{00} dz,$$

при баротропни условия е показана на фиг. 4. Вижда се, че с течение на времето тази асиметрия намалява (стреми се към $S_z = 0$, характерна за нормално гаусово разпределение), което е свързано с издигане на облака във височина и намаляване на ефектите, свързани с влиянието на земната повърхност като лимитиращ фактор.



Фиг. 4. Зависимост на асиметрията на вертикалното разпределение на концентрацията S_z от t при баротропни условия ($M = 0, \alpha = 0$)

Пресметната в съответствие с формула (2) нормирана приземна концентрация на дифундиращия обем за бароклинен случай ($M = 0,01$, $\sigma = 90^\circ$) през интервали от 3 h е показана на фиг. 5. На същата фигура е нанесена и съответната му траектория на центъра на тежестта, както и съответната такава за баротропния случай. Съпоставката отново демонстрира същественото различие в замърсяването между двата случая (по посока на разпространение и по структура на полето на концентрацията).



Фиг. 5. Приземната нормирана концентрация на дифундиращия обем в моменти $t = 3 \text{ h}, 6 \text{ h}, 9 \text{ h}, 12 \text{ h}$ и траекториите за този и за баротропния случай

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати показват същественото влияние на бароклинните ефекти върху лагранжевите характеристики и концентрацията в рамките на класическия екманов граничен слой.

Една бъдеща задача е изследване на горните, както и на допълнителни ефекти на базата на по-реалистични модели и параметризационни схеми в ПГС [1]. В такъв случай особен интерес представлява определянето на най-неблагоприятните съчетания на характеристиките на атмосферата и източника, при които се реализират критични параметри на замърсяване в ПГС [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Syrakov, E., K. Ganey. *Int.J.Environment and Pollution*, **20**, 1–6, 2003, 154.
2. Syrakov, E., K. Ganey. In: Proc. Eighth Intern. Conf. on Harm. w Atm. Disp. Modell. for Reg. Purp, **1**, 272., Garm. Part. Kirch., Germany, 01–04 June, 2004.
3. Csanady, G. *Journ. of Atm. Sci.*, **26**, 1968, 654.
4. Safman, P. *Quart J. Roy. Meteorol. Soc.*, **88**, 378, 1962, 382.
5. Smith, F. B. *Quart J. Roy. Meteorol. Soc.*, **91**, 1965, 318.
6. Csanady, G. *JAS*, **90**, 1969, 414.
7. Yordanov, D., F. Wippermann. *Beitr. Phys. Atm.*, **45**, 1972, 58.
8. Syrakov, E. *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, **37**, 12, 1984, 1629.
9. Syrakov, E., M. Tsankov. In: Proc of 3rd Int Simp. On Air Qual. Manag. of Urb., Reg and Glob. Scales, Istanbul, 26–30 Sept, **1**, 2005, 506.

Постъпила декември 2006 г.

Емил Чолаков
Софийски университет „Св. Климент Охридски“
Физически факултет
Катедра Метеорология и геофизика
Бул. „Джеймс Баучър“ 5
1164 София, България
E-mail: cholakov@phys.uni-sofia.bg