

ВЪРХУ ИНДУЦИРАНИТЕ ОТ ТЕРМИЧНИ ХОРИЗОНТАЛНИ НЕЕДНОРОДНОСТИ ВЕРТИКАЛНИ СКОРОСТИ В КРАЙБРЕЖНИ РАЙОНИ

МИЛЕН ЦАНКОВ

Катедра „Метеорология и геофизика“

Милен Цанков. ВЪРХУ ИНДУЦИРАНИТЕ ОТ ТЕРМИЧНИ ХОРИЗОНТАЛНИ НЕЕДНОРОДНОСТИ ВЕРТИКАЛНИ СКОРОСТИ В КРАЙБРЕЖНИ РАЙОНИ

Методиката, развита от Сираков [1–3], е приложена за изследване на индуцираните вертикални скорости на горната граница на ПГС при смяна на термичните характеристики в преходна зона, например суша–море. Изследвано е влиянието на ъгъла на обтичане (относно бреговата линия) върху структурата на полето на тези скорости. Анализирана е възможната роля на тези процеси във формиране на валежите в разглежданата зона.

Milen Tsankov. ON THE INDUCED BY THE THERMAL INHOMOGENEITIES VERTICAL VELOCITIES IN COASTAL ZONES

The method developed by Syrakov [1–3] is applied for exploring the induced vertical velocities at the upper boundary of the PBL at change of the thermal characteristics in transition zone, for example land–sea. It is explored the influence of the angle of flowing (about the coastal line) on the structure of the field of these velocities. It is analyzed the possible role of these processes on forming the rainfalls in the considered zone.

Keywords: thermal inhomogeneities, transition zone, angle of flowing, induced vertical velocities

PACS number: 92.10.Lq

1. УВОД

Важна интегрална характеристика на взаимодействието между планетарния граничен слой (ПГС) и свободната атмосфера е вертикалната скорост w_h на горната му граница H . В случай, когато w_h се формира в резултат на съвместното влияние на термичните хоризонтални нееднородности $\theta_H - \theta_0 = \delta\theta(x,y)$ ($\delta\theta$ -топография) и триенето в ПГС, е в сила следната формула [1, 2]:

$$w_h = a_1 (\bar{\nabla} \delta\theta \cdot \bar{c}_{g0}) + b_1 (\bar{\nabla} \delta\theta \times \bar{c}_{g0})_3 - d_1 G_0^2 \nabla^2 \delta\theta + c \Omega_g, \quad (1)$$

където $\bar{c}_{g0} = (u_{g0}, v_{g0})$ и G_0 са вектор и модул на приземния геострофен вятър, $c = \sqrt{2k/f}$, k – осреднен по височината коефициент на вертикален турбулентен обмен, $\Omega_g = \frac{\partial v_{g0}}{\partial x} - \frac{\partial u_{g0}}{\partial y}$ – геострофен вихър, a_1, b_1, d_1 – тегловни коефициенти, зависещи от c . Първите два члена в (1) описват съответно напречно и надлъжно обтичане на $\delta\theta(x,y)$ -топографията (линейно приближение), третият е свързан с нейния лапласиан (нелинейно приближение). Формула (1) допълва резултатите в [4], получени при отчитане само на ефектите на земната орография. След разкриване на скаларните и векторните произведения формула (1) (при пренебрегване на члена $c\Omega_g$) може да бъде представена в следния вид [4]:

$$w_h = a_1 G_0 \nabla \delta\theta F(\varphi) - d_1 G_0^2 \nabla^2 \delta\theta, \quad (2)$$

където φ е ъгълът между геострофния вятър и градиента на $\delta\theta(x,y)$ -топографията (положителен при нарастване на $\delta\theta$ стойностите). Тегловната функция $F(\varphi)$ има вида

$$F(\varphi) = \cos \varphi + \frac{b_1}{a_1} \sin \varphi. \quad (3)$$

Явната зависимост на осреднения по височината коефициент на вертикален турбулентен обмен k има вида [5,6]

$$k = k_0 \Phi^2, \quad k_0 = 2m \frac{G_0^2}{f}, \quad \Phi = \frac{1}{S\sqrt{m} + \sqrt{mS^2 + 1}}, \quad (4)$$

където S е интегрален параметър на стратификацията в ПГС, $\sqrt{m} \sim c_{d0}$,

c_{d0} – коефициент на геострофно съпротивление при безразлична стратификация. Формула (4) е изведена при конвенционални метеорологични условия, каквито ще разгледаме по-долу. Ще отбележим, че в случай на отчитане на нелокални ефекти, генерирани от влиянието на стабилността на свободната атмосфера върху устойчив ПГС във високите географски ширини – условно неутрален режим [7] (**conventional neutral**), формула (4) и c_{d0} могат да бъдат определени въз основа на параметризационен подход, развит в [8]. В общия случай тегловните коефициенти a_1, b_1, d_1 се изразяват чрез (4). На тази база в [3,4] са определени средни техни типични стойности при разглеждания в синоптичен мащаб. Модифицирани техни стойности, отнасящи се за локални мащаби, ще предложим по-долу в работата.

2. ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА

Ще разгледаме задачата за индуциране на вертикални скорости в преходна зона при преминаване между две области с различни термични характеристики $\delta\theta'$ и $\delta\theta''$, като за конкретност ще приемем $\delta\theta' < \delta\theta''$ (което съответства на преход от област с по-малка термична стабилност към област с по-голяма). За $\delta\theta(x)$ ще използваме следната апроксимационна формула в преходната зона:

$$\delta\theta(x) = \frac{\delta\theta' + n\delta\theta''e^{mx}}{1+ne^{mx}}, \quad (5)$$

където m и n са положителни константи. Вижда се, че формула (5) притежава необходимите асимптоти, осигуряващи плавен преход между областите с различни термични характеристики:

$$\begin{aligned} \lim_{x \rightarrow \infty} \delta\theta(x) &= \delta\theta'', \\ \lim_{x \rightarrow -\infty} \delta\theta(x) &= \delta\theta', \\ \delta\theta(x=0) &= \frac{\delta\theta' + n\delta\theta''}{1+n}. \end{aligned}$$

Замествайки (5) в (2), получаваме следния израз за вертикалната скорост, индуцирана от хоризонталните термични нееднородности в зоната на преход:

$$w_h = a_1 m G_0 (\delta\theta'' - \delta\theta') R_{mn}(x) \left[F(\varphi) - \frac{d_1 m G_0}{a_1} \frac{1 - n c^{mx}}{1 + n c^{mx}} \right],$$

$$R_{mn}(x) = \frac{n c^{mx}}{(1 + n c^{mx})^2}. \quad (6)$$

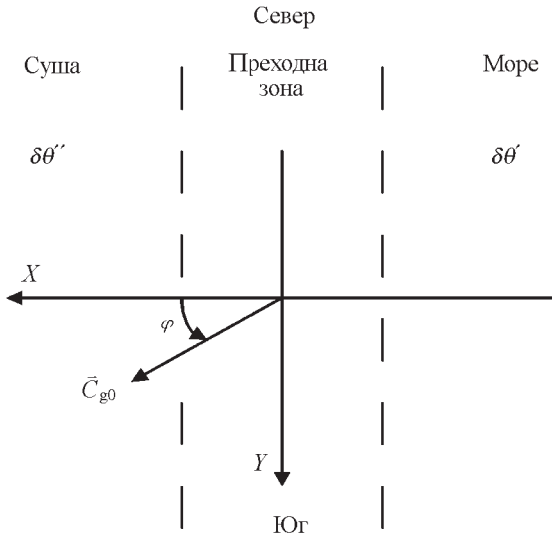
Ще анализираме накратко формула (6). Ефектите, свързани с първия член (линейно приближение) в (6), зависят съществено от ъгъла на обтичане. Напречно обтичане на $\delta\theta$ -топографията имаме при $\varphi = 0^\circ$ и $\varphi = 180^\circ$, надлъжно [9] при $\varphi = 0^\circ$ и $\varphi = 270^\circ$. При междинни ъгли се получава сумиране на двата ефекта в различни съотношения. Вторият член е свързан с формата на $\delta\theta$ -топографията, т.е. с нейния лапласиан. Съществено е, че този член не зависи от ъгъла на обтичане.

3. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

Ще използваме (5) за описване на смяната на термичните характеристики в преходна зона море–суша, като считаме, че брегът се задава като права линия север–юг, а морето е разположено източно от брега (което приближено моделира конфигурацията море–суша на нашето Черноморие). Възможни са два основни случая: студено море–топла суша ($\delta\theta' < \delta\theta''$) или обратното ($\delta\theta' > \delta\theta''$). Първият случай се реализира обикновено през деня или в сезонен аспект през летните месеци, а вторият – през нощта и съответно през зимните месеци. Вече казахме, че членът свързан с лапласиана не зависи от ъгъла на обтичане φ (фиг. 1).

От друга страна, първите два члена от (2) съществено зависят от този ъгъл. В резултат на това се получават няколко комбинации на сумиране на споменатите ефекти и в съответствие с това – формиране на вертикалните скорости в крайбрежната зона. Тези възможности са оценени при различни типични стойности на ъгъла на обтичане φ . Ще отбележим също, че при разглежданата задача от локален мащаб са използвани следните типични стойности на параметрите: за тегловните коефициентите – $a_1 = -4[\text{m/K}]$, $b_1 = -4[\text{m/K}]$, $d_1 = 2 \cdot 10^3[\text{ms/K}]$; за параметрите m и n : $m = 10^{-3}[\text{m}^{-1}]$, $n = 1$; $G_0 = 7[\text{m/s}]$, $\delta\theta' = -4^\circ \text{C}$, $\delta\theta'' = 0^\circ$.

Достатъчно е да разгледаме само случая студено море–топла суша (тъй като при обратния случай се получават аналогични резултати и се сменя само знакът на вертикалните скорости). Ще използваме нормирания вариант на (6). Формула (2) приема вида:

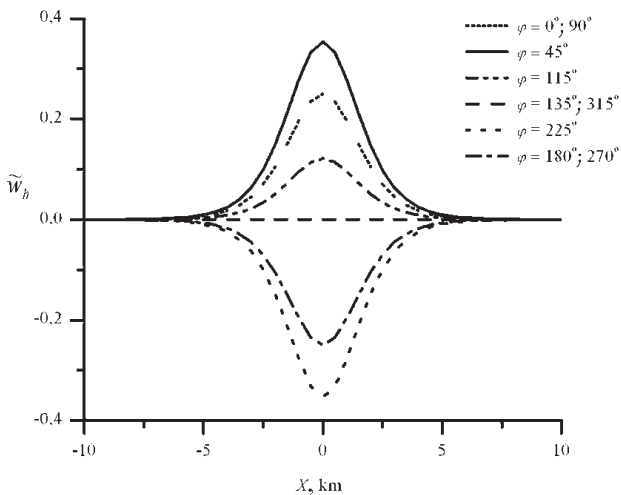


Фиг. 1. Взаимно разположение на термичните нееднородности и бреговата зона

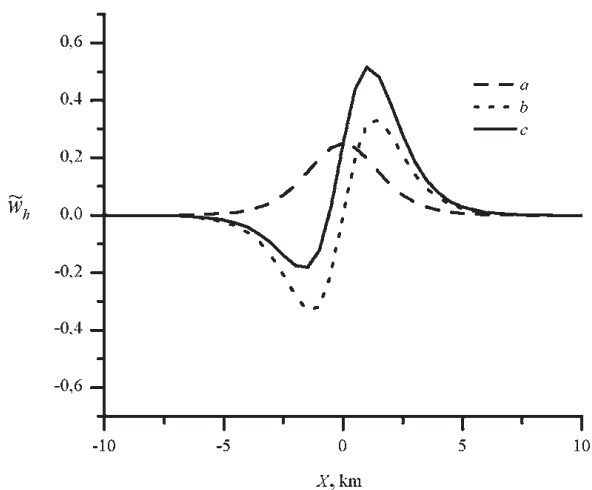
$$\tilde{w}_h = \frac{w_h}{a_1 m G_0 (\delta\theta'' - \delta\theta')} = R_{mn}(x) \left[F(\varphi) - \frac{d_1 m G_0}{a_1} \frac{1 - n e^{mx}}{1 + n e^{mx}} \right]. \quad (7)$$

На фиг. 2 е представена нормираната безразмерна вертикална скорост w_h в преходната зона в линейно приближение (първият член от формула (6)) при различни ъгли на обтичане спрямо бреговата линия. Най-големи скорости се наблюдават при $\varphi = 45^\circ$, а най-малки – при $\varphi = 225^\circ$. Трябва да се отбележи, че ефектите в случаите на надлъжно и напречно обтичане при ъгли $\varphi = 0^\circ$ и $\varphi = 90^\circ$ са равни, както и тези при $\varphi = 180^\circ$ и $\varphi = 270^\circ$, но с противоположен знак. При ъгли $\varphi = 135^\circ$ и $\varphi = 315^\circ$ линейната компонента в (6) е нула и индуцираната вертикална скорост ще се определя в тези случаи само от нелинейната компонента.

На фиг. 3 са представени резултати, които се отнасят за отделните компоненти, формиращи w_h : дължащите се на напречно и надлъжно обтичане на $\delta\theta$ -топографията, на свързаната с лапласиана на $\delta\theta$ -топографията, както и сумарната w_h на тези компоненти при фиксиран ъгъл на напречно обтичане $\varphi = 0^\circ$. Вижда се, че в резултат на ефекта, свързан с лапласиана, сумарната скорост си сменя знака, което води до наличие на два екстремума и променяне на конфигурацията ѝ относно бреговата линия.

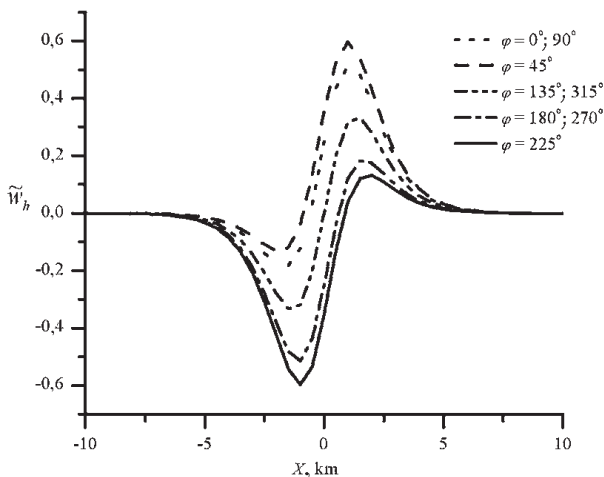


Фиг. 2. Зависимост на w_h (линейно приближение – първия член в (6)) в преходната зона при различни стойности на ъгъла на обтичане от $\varphi = 0^\circ$ до $\varphi = 135^\circ$ през интервал от $\varphi = 45^\circ$ и $\varphi = 115^\circ$



Фиг. 3. Изменение на w_h в преходната зона при $\varphi = 0^\circ$: a – компонента, съответстваща само на линейно приближение; b – компонента при отчитане само на ефекта, свързан с лапласиана на $\delta\theta$ -топографията, вторият член в (6); c – сумарна вертикална скорост от двете компоненти

В общия случай зависимостта на сумарната вертикална скорост при различни ъгли на обтичане от $\varphi = 0^\circ$ до $\varphi = 135^\circ$ през интервал от 45° е показана на фиг. 4.



Фиг. 4. Зависимост на сумарната вертикална скорост w_h в преходната зона при различни ъгли на обтичане от $\varphi = 0^\circ$ до $\varphi = 135^\circ$ през интервал от 45°

Наслагването на двете компоненти на нормираната вертикална скорост (6) води до ясно изразени максимум (при $\varphi = 45^\circ$) в края на преходната зона и минимум (при $\varphi = 225^\circ$) в началото ѝ. Ефектите на надлъжно и напречно обтичане са равни за всяка двойка ъгли $\varphi = 180^\circ$, $\varphi = 270^\circ$ и $\varphi = 135^\circ$, $\varphi = 315^\circ$. Като цяло ефектът от лапласиана най-отчетливо се проявява при ъгли $\varphi = 135^\circ$ и $\varphi = 315^\circ$, създавайки симетрична конфигурация на вертикалната скорост спрямо бреговата линия, минимумът и максимумът са равноотдалечени от нея. Оценката на големината на индуцираната вертикалната скорост след денормиране на (7) показва, че максимална възходяща вертикална скорост се получава при $\varphi = 225^\circ$ в предната част на преходната зона, като $w_h = 6,7 \text{ cm/s}$ (условие 1), и съответно минимална низходяща скорост в края на зоната $-w_h = -1,5 \text{ cm.s}^{-1}$ (условие 2). Аналогично при $\varphi = 45^\circ$ имаме минимална възходяща вертикална скорост в предната част на зоната $-w_h = 1,5 \text{ cm.s}^{-1}$ (условие 3), и максимална низходяща в края на зоната $-w_h = -6,7 \text{ cm.s}^{-1}$ (условие 4). Това означава, че при зададената конфигурация на брега и термичните нееднородности $\delta\theta' < \delta\theta''$, най-благоприятни условия за валеж имаме в случай 1, а най-неблагопри-

ятни – в случай 4. Отчитането на формата на $\delta\theta$ -топографията (нелинейния ефект), освен че променя разположението на максимума и минимума на индуцираната вертикална скорост и усилва техните големина, създава и допълнителни условия (в преходната зона при конкретен ъгъл на обтичане) за образуване на валеж – случай 3, или за потискането му – случай 2, макар и по-малки като стойност. При обратна $\delta\theta$ -топографията – $\delta\theta' > \delta\theta''$, резултатите са аналогични, като са с противоположен знак.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите показват, че в зависимост от ъгъла на обтичане се формират различни режими на вертикални движения в преходната зона. Определени са най-благоприятни условия за индуциране на положителни максимални вертикални скорости при зададена $\delta\theta$ -топография и вариране на ъгъла на обтичане. Естествено е, че такива ситуации са най-благоприятни за възникване на валеж в преходната зона. В общия случай към тях трябва да се добавят и орографски ефекти, свързани със смяна на грапавостта суша–море [10–13], **което допълнително усложнява картината. Тук са възможни ситуации, когато орографските ефекти усилват термичните или когато действат противоположно на тях, като в частност може даже и да ги анулират.** Интересен е също случаят, когато се постига максимален ефект (резонанс) между орографските и термичните ефекти, което съответства на типични ъгли на обтичане и конфигурация на орографско-термичните нееднородности спрямо бреговата линия. На тези въпроси възнамеряваме да се спрем в следваща публикация.

ЛИТЕРАТУРА

1. Syrakov, E. *Zb. Met.i Hidr. Rad.*, №12, 1985.
2. Syrakov, E. *Zb.Met.i Hidr.Rad.*, №12,1985.
3. Syrakov, E. Dr. of Sci. Thesis, University of Sofia (in Bulgarian), 1990.
4. Syrakov, E. and H. Chervenkov. *Bulg. Jour. of Met. and Hydr.*, **12**, 2001, 97.
5. Syrakov, E. IX International conference on Karpatian meteorology, 1979, 289.
6. Syrakov, E. *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, **37**, 12, 1984, 1629.
7. Zilitinkevich, S. and I Esau. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **131**, 2005, 1863.
8. Syrakov, E. and E. Cholakov. In: Proc of 3rd Int Simp. On Air Qual. Manag. of Urb., Reg and Glob. Scales, Istanbul, 26–30 Sept, **2**, 2005, 1453.
9. Collier, G.J. *OJRMS*, **101**, 1975, 429.
10. Godev, N. *Arch.Met. Geoph. Biokl. Ser. A*, **19**, 1970.
11. Godev, N..Arch.Met.Geoph. Biokl. Ser.A, **19**, 1970.
12. Гoдeв, Н. **Синоптична метеорология. София, 1976.**
13. Панчев, Ст. **Динамична метеорология. София, 1981.**

Постъпила декември 2006 г.

Милен Цанков
Софийски университет „Св. Климент Охридски“
Физически факултет
Катедра „Метеорология и геофизика“
Бул. ”Джеймс Баучър” 5
1164 София, България
E-mail: medosan@abv.bg