

## ВЪРХУ ВРЪЗКАТА НА ТЕРМИЧНИЯ И ОРОГРАФСКИЯ ЛАПЛАСИАН С ОСНОВНИ КЛИМАТИЧНИ ПРОЦЕСИ В АТМОСФЕРАТА

ЕВГЕНИ СИРАКОВ, ЙЕНС БОНЕВИЦ, СИЛВИЯ ПЕТРОВА<sup>1</sup>

*Катедра „Метеорология и геофизика“*

*Физически факултет, Софийски университет „Св. Климент Охридски“*

<sup>1</sup> *НИМХ София*

*Евгени Сираков, Йенс Боневци, Силвия Петрова. ВЪРХУ ВРЪЗКАТА НА ТЕРМИЧНИЯ И ОРОГРАФСКИЯ ЛАПЛАСИАН С ОСНОВНИ КЛИМАТИЧНИ ПРОЦЕСИ В АТМОСФЕРАТА*

Разглежда се ролята на термичния  $\nabla^2\delta\theta$  и орографския  $\nabla^2z_0$  лапласиан като важни параметри, параметризиращи основни климатични процеси в атмосферата. Те генерират вертикални крупномасштабни скорости  $w_H(\nabla^2\delta\theta)$  и  $w_H(\nabla^2z_0)$  на горната граница на атмосферния граничен слой (АГС). Тези вертикални скорости (описващи важни крупномасштабни взаимодействия на АГС със свободната атмосфера) са инвариантни относно координатната декартова система (в която са записани) и не зависят от посоката на вятъра, което обуславя тяхното важно климатично значение. Това е потвърдено въз основа на реални данни, като е установено съществена корелация на тези  $w_H$ -вертикални скорости (т.е. на  $\nabla^2\delta\theta$  и  $\nabla^2z_0$ ) с основни климатични фактори – цикло-и антициклогенез и центрове на действие на атмосферата.

*Evgeni Syrakov, Jens Bonewitz, Silvia Petrova. ON THE RELATION OF THERMAL AND OROGRAPHIC LAPLACIAN WITH MAIN KLIMATIC PROCESSES IN THE ATMOSPHERE*

It is shown the role of the thermal  $\nabla^2\delta\theta$  and orographic  $\nabla^2z_0$  laplacian as important parameters, which parameterized main climatic processes in the atmosphere. They generate vertical large scale velocities  $w_H(\nabla^2\delta\theta)$  and  $w_H(\nabla^2z_0)$  on the top border of the atmospheric boundary layer (ABL). These vertical velocities (which describe important large scale interactions of the ABL with the free atmosphere) are invariant according to the Cartesian coordinate system (within are described) and

---

*За контакти:* Евгени Сираков, Катедра „Метеорология и геофизика“, Физически факултет, Софийски университет „Св. Климент Охридски“, бул. „Джеймс Баучер“ 5, 1164 София, тел.: +359 2 8161-312, E-mail: esyrakov@phys.uni-sofia.bg

don't depend of the wind direction. Therefore they have an important climatic aspect. This is confirmed on base of real data as it is established significant correlation of these  $w_H$ -vertical velocities (i.e. of  $\nabla^2\delta\theta$  and  $\nabla^2z_0$ ) with main climatic factors – genesis of cyclones and anticyclones and centers of activity in the atmosphere.

**Keywords:** induced synoptic vertical velocity, thermal and orographic laplacians, invariance, climatic correlations.

**PACS number:** 92.60 ± e

## 1. УВОД

Докато синоптичните процеси се характеризират с твърде голяма изменчивост, крупномасштабните процеси, разгледани в климатичен аспект, т.е. получени при многогодишни усреднения, се оказват типични, устойчиви и малко изменящи се в рамките на даден сезон. При смяна на сезоните (например лято – зима) обаче се забелязва значително преустройство в конфигурацията на полето на метеоелементите, което е свързано с влияние на термичните фактори. Поради това ще проведем съответни разглеждания за два основни климатични сезона: зима и лято, като за някои от тях ще се ограничим с територията на Северното полукълбо.

Изучаването на влиянието на орографско-термичните нееднородности представлява основен проблем, който има отношение към построяването на моделите на климата и редица други глобални метеорологични процеси. Термично и орографски нееднородният АГС и тук запазва ролята си на своеобразен „буферен“ слой. При климатично значимите атмосферни процеси се „губят“менящите се с по-къси временни периоди синоптични метеорологични вариации и остават само тези фактори, които в рамките на даден сезон се натрупват и имат доминиращо влияние. В голяма част от климатичните разглеждания редица климатични характеристики на взаимодействието на земната повърхност с глобалните климатични процеси се задават чрез локални параметризационни схеми. Тук ще се постареем да представим подход за оценка на изменящото се от точка в точка (в рамките на възприет мащаб) крупномасштабно влияние на лапласианите на  $z_0(x,y)$  и  $\delta\theta(x,y)$ -нееднородностите върху основни климатични процеси.

## 2. ПОСТАНОВКИ НА ЗАДАЧАТА

Основна характеристика на взаимодействието между планетарния граничен слой (ПГС) и свободната атмосфера е вертикалната скорост  $w_h$  на горната му граница  $H$ . В общия случай  $w_h$  се формира в резултат на съвместното

влияние на орографията  $z_0(x,y)$ , термичните хоризонтални нееднородности  $\theta_H - \theta_0 = \delta\theta(x,y)$  ( $\delta\theta$ -топография), триенето и бароклинните ефекти:

$$w_H = w_l + c\Omega_{g_0} + \Delta w, \quad \Delta w = \Delta w_{or} + \Delta w_T + \Delta w_{BK} \quad (1)$$

където

$$\Delta w_{or} = a(\bar{\nabla}z_0 \cdot \bar{c}_{g_0}) + b(\bar{\nabla}z_0 \times \bar{c}_{g_0})_3 - dG_0^2 \nabla^2 z_0 - e(u_{g_0}^2 - v_{g_0}^2) \partial^2 z_0 \frac{\partial^2 z_0}{\partial x \partial y}, \quad (2)$$

$$w_T = a_1(\bar{\nabla} \delta\theta \cdot \bar{c}_{g_0}) + b_1(\bar{\nabla} \delta\theta \times \bar{c}_{g_0})_3 - d_1 G_0^2 \nabla^2 \delta\theta - e_1 \frac{\partial^2 \delta\theta}{\partial x \partial y} (u_{g_0}^2 - v_{g_0}^2), \quad (3)$$

$$w_{BK} = -f_1 \left( u_{g_0} \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} + v_{g_0} \frac{\partial \bar{T}}{\partial y} \right) \equiv -f_1 (\bar{\nabla} T \cdot \bar{c}_{g_0}) \quad (4)$$

Тук  $\bar{c}_{g_0} = (u_{g_0}, v_{g_0})$ ,  $G_0$  е вектор и модул на приземния геострофен вятър,  $c = \sqrt{2k/f}$ ,  $k = k[z_0(x,y)]$  – осреднен по височината коефициент на вертикален турбулентен обмен;  $\Omega_g = \frac{\partial v_{g_0}}{\partial x} - \frac{\partial u_{g_0}}{\partial y}$  е геострофен вихър,  $w_l = u_{g_0} \frac{\partial z_0}{\partial x} + v_{g_0} \frac{\partial z_0}{\partial y}$  – вертикална скорост при идеално обтичане на  $z_0(x,y)$ ;  $f_1 = (\pi/\bar{T})c$ ;  $\bar{T}$  – осреднена по височината температура в ПГС;  $a, b, d, e$ ;  $a_1, b_1, d_1, e_1$  са тегловни коефициенти.

Формула (2), отчитаща орографските ефекти, е дадена в [1]. Формули (3) и (4), отчитащи допълнителните ефекти, свързани съответно с хоризонталните термични нееднородности и бароклинността, са получени в [2, 3].

Съгласно формулата на Марчук [4], тенденцията на геопотенциала  $\partial\Phi/\partial t$  за дадена изобарна повърхност  $S_p$  се изразява във вида

$$\frac{\partial\Phi}{\partial t} = \iint_{S_p} M_w w_h dx dy. \quad (5)$$

Отчитайки, че положителната функция на влияние  $M_w$  е бързо намаляваща по хоризонталните координати, с достатъчна точност можем да смятаме, че

$$\frac{\partial\Phi}{\partial t} = c_0 w_H, c_0 = 0,3. \quad (6)$$

За  $w_H$  ще използваме въведената по-горе формула (1). От (6) следва, че при  $\partial\Phi/\partial t > 0$  се реализира антициклогенез ( $w_H > 0$ ), а при  $\partial\Phi/\partial t < 0$  –

циклогенез ( $w_H < 0$ ). Типът на съответния генез се обуславя от сумарния ефект на описаните от (1) ефекти.

Нека сега съставим климатични карти за величините  $\nabla^2\delta\theta$  и  $\nabla^2z_0$  за цялото земно кълбо. Изходна информация за тази цел черпим от известните аерологични климатични атласи [5] и реални данни за орографията. Въз основа на обработка на тези данни за летен и зимен сезони са построени климатични карти за лапласианите чрез традиционното четириточково тяхно представяне в крайни разлики в мрежа с определена дискретизация:

- разпределение на лапласиана  $\nabla^2\delta\theta = \frac{\partial^2\delta\theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\delta\theta}{\partial y^2}$ , изчислен за мрежа с дискретизация  $5 \times 5$  географски градуса (фиг. 1, фиг. 2);
- разпределение на лапласиана  $\nabla^2z_0 = \frac{\partial^2z_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2z_0}{\partial y^2}$ , изчислен за три вида осреднения :  $2 \times 2$  и  $5 \times 5$  географски градуса (фиг. 3).

Както лесно се съобразява, нелинейните членове в (1), съдържащи лапласианите на  $z_0(x,y)$  и „ $\delta\theta(x,y)$ -топографията“

$$w_H = -G_0^2 (d\nabla^2z_0 + d_1\nabla^2\delta\theta), \quad (7)$$

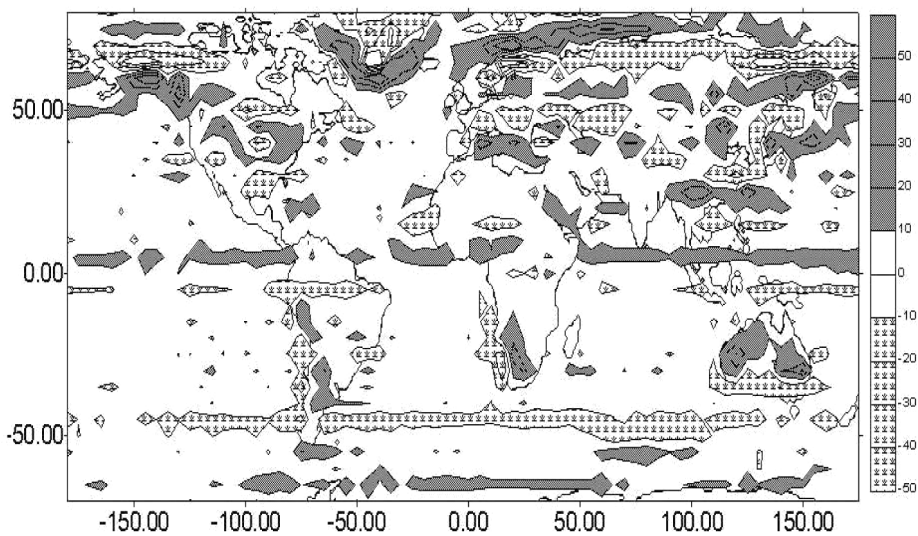
са инвариантни относно координатната система и не зависят от посоката на вятъра. Поради тази причина те могат да имат съществена климатична значимост. Въз основа на (2), (3) и (7)

$$\begin{aligned} \frac{\partial\Phi_{or}}{\partial t} &= -c_0G_0^2d\nabla^2z_0 \\ \frac{\partial\Phi_T}{\partial t} &= -c_0G_0^2d_1\nabla^2\delta\theta \end{aligned} \quad (8)$$

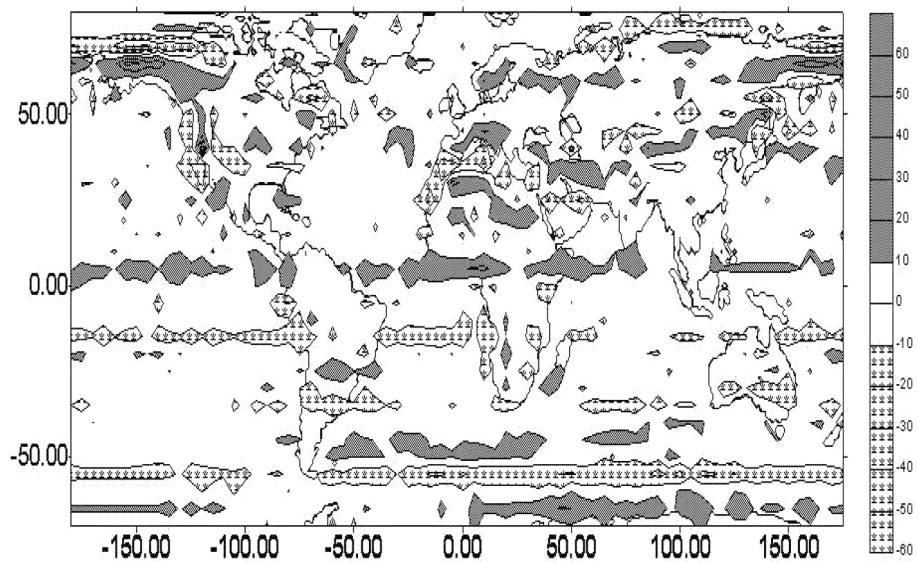
където  $d > 0, d_1 < 0$ . От (8) следва, че при  $\frac{\partial\Phi}{\partial t} > 0$  се реализира антициклогенез ( $\nabla^2z_0 < 0, \nabla^2\delta\theta > 0$ ), а при  $\frac{\partial\Phi}{\partial t} < 0$  – циклогенез ( $\nabla^2z_0 > 0, \nabla^2\delta\theta < 0$ ).

### 3. КОРЕЛАТИВНИ ВРЪЗКИ НА ТЕРМИЧНИ И ОРОГРАФСКИ ЛАПЛАСИАНИ С КЛИМАТИЧНИ ПРОЦЕСИ

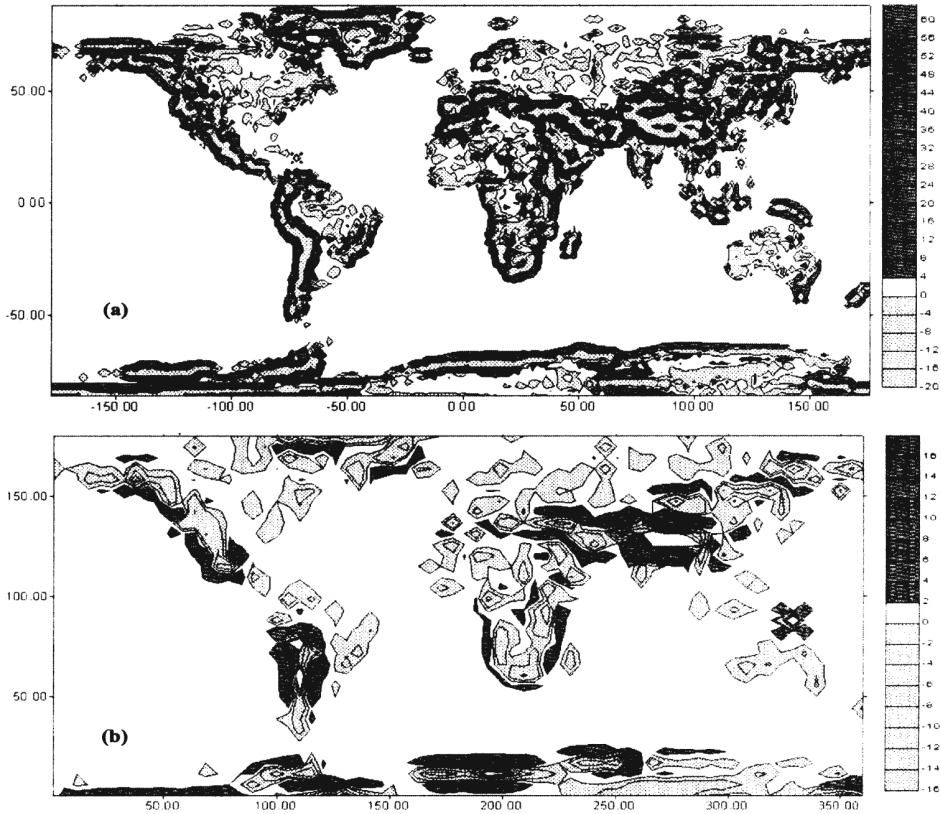
Горните теоретични изводи до голяма степен се потвърждават от съпоставката на изчислените лапласиани (фиг. 1 и фиг. 2) с областите на активен цикло- и антициклогенез по Петерсен [6].



Фиг. 1. Разпределение на термичния лапласиан  $\nabla^2\delta\theta$  в условни единици през януари



Фиг. 2. Разпределение на термичния лапласиан  $\nabla^2\delta\theta$  в условни единици през юли



**Фиг. 3.** Форма и разпределение на орографския лапласиан  $\nabla^2 z_0$ , изчислен с осреднение  $2 \times 2$  географски градуса (a) и  $5 \times 5$  географски градуса (b)

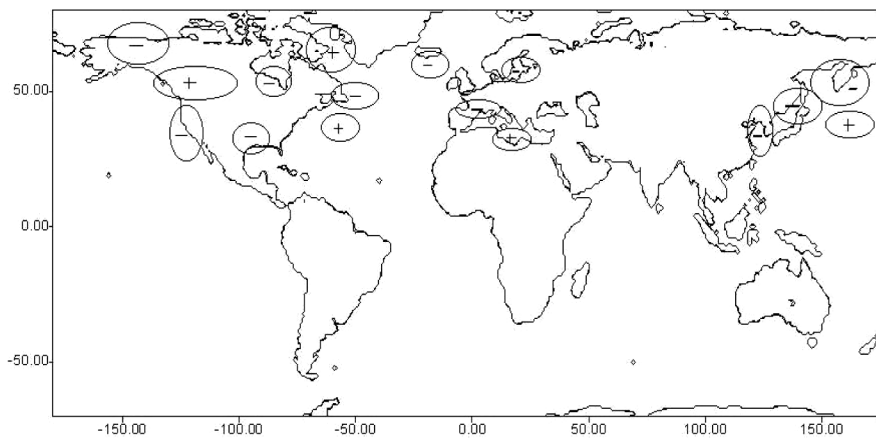
Резултатите са представени на фиг. 4 и фиг. 5, където са съпоставени районите с голяма процентна повторемост на цикло- или антициклогенетичните процеси и знаците на термичния лапласиан на същите места. Например източно и западно от планинския масив Кордилери в Северна Америка и през двата сезона забелязваме области с повишена циклогенетична дейност (0,6 единици). На същите ширини върху получените въз основа на многогодишни наблюдения климатични карти откриваме отрицателни стойности на термичния лапласиан ( $\nabla^2 \delta \theta < -10$ ). На тези карти е отразено и сезонното отместване на разглежданите зони на циклогенез: през лятото те са локализирани между  $30^\circ$  и  $50^\circ$  с.ш., а през зимата се обособяват около  $30^\circ$  и  $60^\circ$  с.ш. (залив Аляска). В полето на  $\nabla^2 z_0$  в тези райони знакът на лапласиана е положителен заради вдлъбнатата форма на релефа от двете страни на препятствието. Подобни корелации откриваме и за други области на интензивен

циклогенез като: Мексиканския залив (през зимата,  $\nabla^2\delta\theta < -25$ ), западните части на Средиземно море през лятото (Генуезки залив, процентна повтаряемост на циклогенеза  $> 0,6$  единици и  $\nabla^2\delta\theta < -10$ ), районите източно от Азия и Северна Америка (между  $30^\circ$  и  $40^\circ$  с.ш. през зимата и над  $45^\circ$  с.ш. през лятото). В добавка, във всички тези райони  $\nabla^2z_0 > 0$  и те представляват вдлъбнати по отношение на средния релеф дъги (вж. фиг. 3).

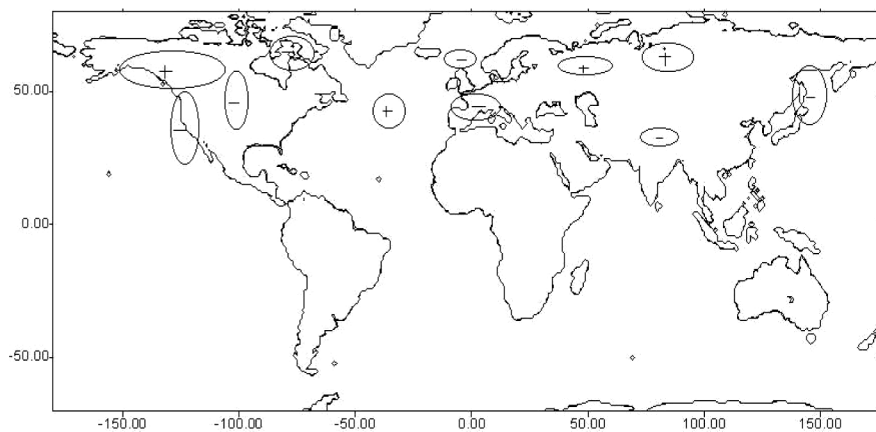
Наблюдаваното съответствие между области с повишен антициклогенез и такива с  $\nabla^2\delta\theta > 0$  подсилва направения извод за влиянието на термичните средноклиматично изразени нееднородности върху сезонното разпределение на атмосферната активност. От фигурите се вижда, че както за лятото, така и за зимата, зоните, в които се зараждат баричните системи с ниско и високо налягане, са строго локализирани и ако на всяка от тях съответства област с екстремни стойности на термичния лапласиан, то обратното не е вярно. Това показва, че наличието на екстремни стойности на  $\nabla^2\delta\theta$  е само необходимо, но не и достатъчно условие за активен генез. Очевидно важна роля могат да играят и други фактори.

Добро качествено съвпадение се наблюдава и между областите с различни знаци на термичния лапласиан и активните центрове на действие в атмосферата – известните многогодишни климатични карти на приземното атмосферно налягане на цялото земно кълбо за зима и лято [6]. На следващите фиг. 6 и фиг. 7 е направена съответна съпоставка между изчислените лапласиани (фиг. 1 и фиг. 2) и тези карти.

Исландският и Алеутският минимум, характеризиращи се с ниско налягане през цялата година, върху картите на температурния лапласиан са покрити от области с  $\nabla^2\delta\theta > 10$  единици, като през зимата стойностите им нарастват в съответствие с разширяването и задълбочаването на депресиите. Азорският и Арктическият максимум съвпадат със зони, в които  $\nabla^2\delta\theta < 0$  и през двата сезона. Тези резултати са в пълно съответствие с теоретичната постановка (5), (6). В център на ниско атмосферно налягане би следвало вертикалната скорост да е възходяща ( $w_H > 0$ ), следователно  $\nabla^2\delta\theta > 0$ , а  $\nabla^2z_0 < 0$ .

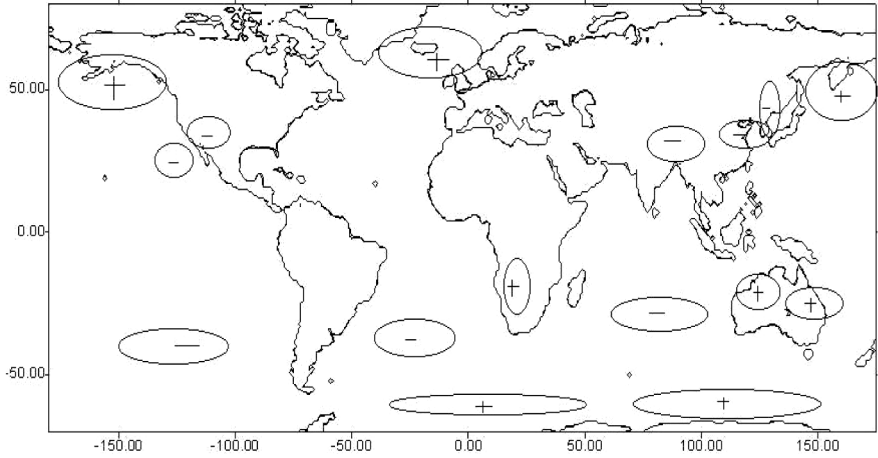


**Фиг. 4.** Разпределение на областите с екстремални стойности и съответни знаци (+,-) на  $\nabla^2\delta\theta$  и оградените зони с максимален циклогенез и антицилогенез през януари ( $\nabla^2\delta\theta < 0$  – циклогенез,  $\nabla^2\delta\theta > 0$  – антицилогенез)

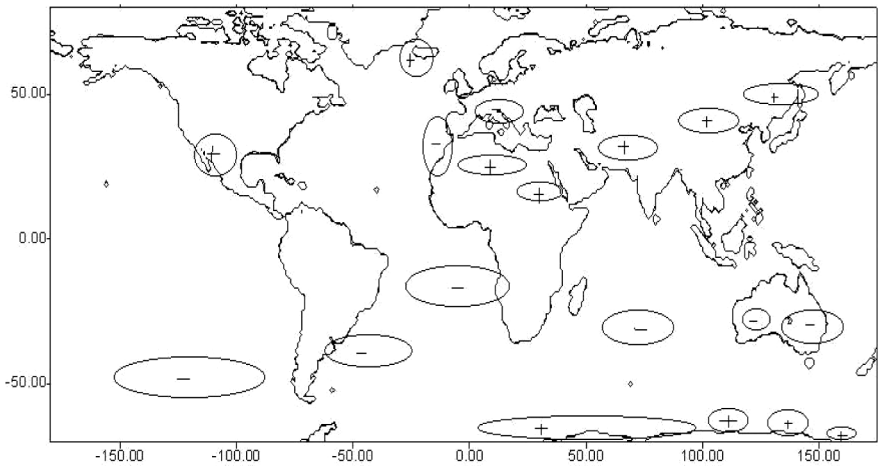


**Фиг. 5.** Разпределение на областите с екстремални стойности и съответни знаци (+,-) на термичния лапласиан  $\nabla^2\delta\theta$  и оградените зони с максимален цикло- и антицилогенез през юли ( $\nabla^2\delta\theta < 0$  – циклогенез,  $\nabla^2\delta\theta > 0$  – антицилогенез)





**Фиг. 6.** Разположение на центровете на действие в атмосферата (оградените зони) и екстремни стойности и съответни знаци (+,-) на лапласиана на температурата  $\nabla^2\delta\theta$  през януари



**Фиг. 7.** Разположение на центровете на действие в атмосферата (оградените зони) и екстремни стойности и съответни знаци (+,-) на термичния лапласиан  $\nabla^2\delta\theta$  през юли

Подобни корелации между теоретичните съображения и климатичните данни установяваме и за други райони на земното кълбо, в които целогодишно преобладават ниски или високи стойности на налягането. Южноатлантическият, Южотихоокеанският и Южноиндийският антициклон са под-

чертани от области с отрицателни стойности на  $\nabla^2\delta\theta$ . Предантарктическият пояс на ниско налягане съответства на зони с  $\nabla^2\delta\theta > 0$  (тук и лапласианът на релефа оказва своето влияние,  $\nabla^2\delta\theta < 0$ ). Дори по-слабо изразените Арктически антициклон и екваториална зона на понижено налягане на получените от нас карти на термичните лапласиани  $\nabla^2\delta\theta$  са покрити от области със съответен знак на термичния лапласиан.

Разпределението на  $\nabla^2\delta\theta$  в съпоставка със сезонните центрове на действие в атмосферата също дава добри резултати. През зимата Азиатският и Канадският максимум се характеризират с големи отрицателни стойности на  $\nabla^2\delta\theta$ , Южноафриканският циклон през януари и Южноазиатската депресия (в района на която  $\nabla^2\delta\theta < 20$  единици) през юли – с  $\nabla^2\delta\theta > 0$ .

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведените по-горе резултати потвърждават високата климатична значимост на лапласианите  $\nabla^2\delta\theta$  и  $\nabla^2z_0$  като фактори, силно корелиращи с основни климатични процеси. Основно място в работата бе обърнато на влиянието на термичния лапласиан. В отделна бъдеща работа по-подробно внимание ще се обърне на орографския лапласиан  $\nabla^2z_0$ .

Считаме, че използването на пълната формула (1) за  $w_H$ , включваща освен двата лапласиана и редица други ефекти, може да бъде много полезно при параметризиране на широк клас синоптични и климатични процеси и числените модели, които ги описват.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Годев, Н. *Arch. Met. Geograph. Biokl.*, 1970, **A19**, P. 299.
- [2] Сираков, Е. *Zb. Met. i Hidr. Rad.*, 1985, **12**, P. 97.
- [3] Сираков, Е. Атмосферен граничен слой – структура, параметризация, взаимодействия. София, 2011.
- [4] Marchuk, G. *Chislenni Metodi v prognoze pogodo*, Gidrometizdat. L., 1967.
- [5] *Aeroklimaticheskii atlas severnogo polushariya*. Temperatura, plotnost i vlazhnost. L., 1963.
- [6] Pettersen, S. *Weather analysis and forecasting*. London, 1956.