

ГОДИШНИК НА СОФИЙСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“  
ФИЗИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ

Том 108

ANNUAL OF SOFIA UNIVERSITY “ST. KLIMENT OHRIDSKI”  
FACULTY OF PHYSICS

Volume 108

---

ВЪРХУ ВЛИЯНИЕТО НА ОРОГРАФИЯТА И ТЕРМИЧНИТЕ  
НЕЕДНОРОДНОСТИ НА ГЕНЕЗА И ДВИЖЕНИЕТО  
НА БАРИЧНИТЕ ОБРАЗОВАНИЯ (ЦИКЛОНИ,  
АНТИЦИКЛОНИ) ПРИ ЗОНАЛНО ОСРЕДНЕНИЕ

ЕВГЕНИ СИРАКОВ, ЙЕНС БОНЕВИЦ

*Катедра „Метеорология и геофизика“*

*Евгени Сираков, Йенс Боневци. ВЪРХУ ВЛИЯНИЕТО НА ОРОГРАФИЯТА И ТЕРМИЧНИТЕ НЕЕДНОРОДНОСТИ НА ГЕНЕЗА И ДВИЖЕНИЕТО НА БАРИЧНИТЕ ОБРАЗОВАНИЯ (ЦИКЛОНИ, АНТИЦИКЛОНИ) ПРИ ЗОНАЛНО ОСРЕДНЕНИЕ*

Развит е подход, позволяващ при използване на данни за зонално осреднени климатични параметри да се установи механизмът на влияние на орографски и термични фактори върху генеза и движението на баричните образувания (циклони, антициклони) в северното и южното полукълбо. Обсъдено е съпадението на теоретичните оценки с климатичните данни.

---

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

*Evgeni Syrakov, Jens Bonewitz. ON THE INFLUENCE OF OROGRAPHIC AND THERMAL NONHOMOGENITIES ON GENESIS AND MOVEMENT OF BARIC FORMATIONS (CYCLONES, ANTICYCLONES) AT ZONAL AVERAGING*

It is developed an approach which allows under using of data for zonal averaged parameters to determine a mechanism which establish the influence of orographic and thermal factors at genesis of baric formations (cyclones, anticyclones) in the north and south hemisphere. Discussed is the coincidence of the theoretical data with climatic ones.

**Keywords:** orographic and thermal laplacian, cyclo- and anticyclogenesis, repeatability, trajectories, zonal averaging

**PACS number:** 92.60 ± e

## 1. УВОД

Известно е, че между атмосферните синоптични и климатични процеси и орографско-термичните хоризонтални нееднородности и триенето съществува тясна връзка [1–3]. Една основна характеристика, отчитаща взаимодействието на тези фактори представлява вертикалната скорост  $w_H$  на горната граница на атмосферния планетарен граничен слой (ПГС), определена над орографска повърхност в [2, 4], и в по-общия случай на отчитане на орографско-термични нееднородности и бароклинни условия в [3, 5, 6].

## 2. ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

Съгласно известната формула на Марчук тенденцията на геопотенциала  $\partial\Phi/\partial t$  за дадена изобарна повърхност се изразява във вида

$$\frac{\partial\Phi}{\partial t} = c_0 w_H \quad (1)$$

където  $c_0 = 0,3$ . От (1) следва, че при антициклогенез (АЦГ)  $\partial\Phi/\partial t > 0$ ,  $w_H > 0$ , а при циклогенез (ЦГ)  $\partial\Phi/\partial t < 0$ ,  $w_H < 0$ . Особено важна роля при оценка на тези генезисни процеси в климатичен аспект играят членовете от общата формула за  $w_H$ , съдържащи лапласианите на орографията  $z_0(x, y)$  – и  $\delta\theta(x, y)$ -топографията:

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

където  $G_0^2 = (u_{g0}^2 + v_{g0}^2)^{1/2}$ ,  $u_{g0}$ ,  $v_{g0}$  са съответно модулни компоненти на орографския вятър,  $\nabla^2 z_0 = \frac{\partial^2 z_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z_0}{\partial y^2}$ ,  $\nabla^2 \delta\theta = \frac{\partial^2 \delta\theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \delta\theta}{\partial y^2}$   $d > 0$  и  $d_1 > 0$  са теглови коефициенти,  $\theta_H - \theta_0 = \delta\theta(x, y)$  – разлика на потенциалната температура на горната граница на ПГС ( $H = 850$  hPa) и при земята. Наред с орографията този фактор играе съществена роля при крупномасабни процеси [3, 5, 7, 8].

Лесно се съобразява, че формула (2) е инвариантна относно координатната система и не зависи от посоката на вятъра, именно поради това има съществена климатична значимост. Поставяйки (2) в (1), разграничаваме приноса на орографията и „ $\delta\theta$ -топографията“ в генеза на баричните образувания:

$$\frac{\partial \Phi_{or}}{\partial t} = -c_0 G_0^2 d \nabla^2 z_0, \quad \frac{\partial \Phi_T}{\partial t} = -c_0 G_0^2 d_1 \nabla^2 \delta\theta \quad (3)$$

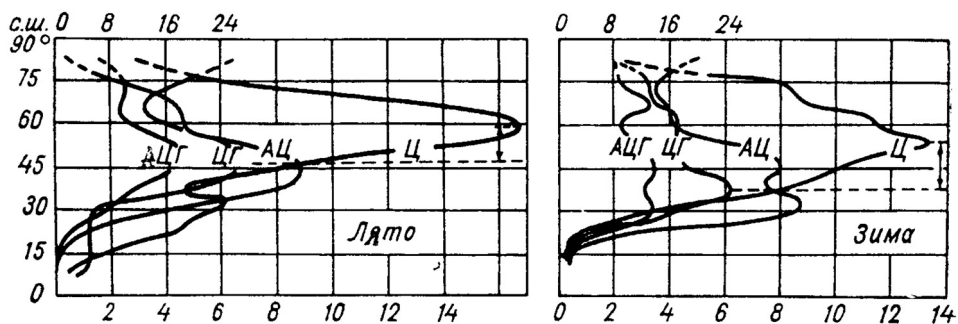
От (3) следва, че по орографски причини ЦГ и АЦГ се реализират съответно при  $\nabla^2 z_0 > 0$  и  $\nabla^2 z_0 < 0$ , а поради хоризонтално нееднородни термични причини – съответно при  $\nabla^2 \delta\theta < 0$  и  $\nabla^2 \delta\theta > 0$ .

Целта на работата е да се установят корелативни връзки между изложените по-горе орографско-термични параметри с ЦГ и АЦГ, както и с движенията (траекториите) на циклоните (Ц) и антициклоните (АЦ) в широко използваното в климатичните изследвания зонално осреднение – осреднение по географската дължина (по широтните кръгове), когато параметрите  $z_0 \delta\theta$ ,  $\nabla^2 z_0$  и  $\nabla^2 \delta\theta$  зависят от географската ширина, т.е. само от координатата  $y$ , ориентирана по географската ширина към полюса:

$$z_0 = z_0(y), \delta\theta = \delta\theta(y), \nabla^2 z_0 = d^2 z_0 / dy^2, \nabla^2 \delta\theta = d^2 \delta\theta / dy^2.$$

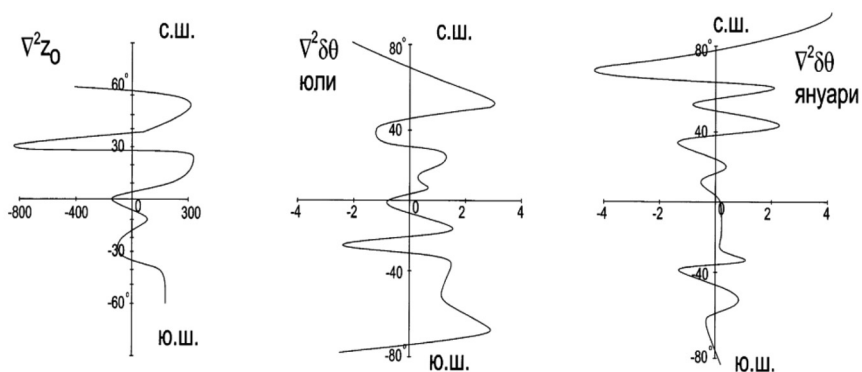
### 3. ОЦЕНКА НА ВРЪЗКИТЕ МЕЖДУ ГЕНЕЗНИТЕ ПРОЦЕСИ (ЦГ, АЦГ) И ЛАПЛАСИАНИТЕ ( $\nabla^2 z_0$ , $\nabla^2 \delta\theta$ )

Ще изходим от известните базови експериментални данни, получени в резултат на 40-годишен период на обработка на реалните синоптични карти, за повтораемост и възникване (генез) на циклоните и антициклоните в северното полукълбо [9]. Меридионалното разпределение (по географската ширина) на тези характеристики (при зонално осреднение) е показано на фиг. 1.



Фиг. 1. Средно меридионално разпределение на процентната повторяемост на антициклогенеза (АЦГ), циклогенеза (ЦГ), циклоните (Ц) и антициклоните (АЦ) в северното полукълбо през лятото и зимата [9]

Да пристъпим към анализирне на взаимовръзките на показаните на фиг. 1 резултати за ЦГ и АЦГ с термичния и орографския лапласиани  $\nabla^2 z_0$ ,  $\nabla^2 \delta\theta$ , получени в резултат на статическа обработка на дългогодишни редици от атмосферни данни, също в рамките на зонално осреднение [10]. На фиг. 2 са показани в условни единици термичният лапласиан  $\nabla^2 \delta\theta$  за летен и зимен сезон (типични месеци юли и януари), както и орографският лапласиан  $\nabla^2 z_0$  за северното и южното полукълбо.



Фиг. 2. Средно меридионално разпределение на термичния лапласиан ( $\nabla^2 \delta\theta$ ) през януари и юли и орографския лапласиан ( $\nabla^2 z_0$ ), съответстващи на данните от фиг. 3

Въз основа на съпоставката на данните от фиг. 1 и фиг. 2 ще представим най-напред някои по-основни резултати, отнасящи се за северното полукълбо.

Ще започнем с летния сезон. Съгласно фиг. 1 максималния ЦГ се реализира около  $38^\circ$  с.ш., на който съгласно фиг. 2 съответства отрицателен максимум на термичния лапласиан  $\nabla^2 \delta\theta < 0$  и положителен максимум на орографския лапласиан  $\nabla^2 z_0 > 0$ . Отчитайки това, от теоретичната формула (3) следва

условието  $\frac{\partial\Phi_T}{\partial t} < 0$ ,  $\frac{\partial\Phi_{or}}{\partial t} < 0$ , потвърждаващо зоната на ЦГ, генезирано от благоприятното съчетание на орографския и термичен фактор.

Да се спрем сега на летния максимум на АЦГ, който се разполага в диапазона около 50–53° с.ш. (фиг. 1). Съответният положителен максимум на термичния лапласиан ( $\nabla^2\delta\theta > 0$ ) е при 52° с.ш., а отрицателният максимум на орографския лапласиан ( $\nabla^2z_0 < 0$ ) е леко изместен и съответства на 54° с.ш. (фиг. 2). Съгласно (3) сега получаваме оценката:  $\frac{\partial\Phi_T}{\partial t} > 0$ ,  $\frac{\partial\Phi_{or}}{\partial t} > 0$ , т.е. отново се потвърждава съответствието между АЦГ-зоната и орографския и термичния лапласиан, формиращи тази зона при своето еднопосочно действие.

Да разгледаме по-нататък съответните резултати, но за зимния сезон. Ще започнем с АЦГ, реализиращ се в рамките на „разлят“ максимум в диапазона 30–45° с.ш., съдържащ два изразени локални такива съответно около 30° с.ш. и 40° с.ш. (фиг. 1). Обяснението на тази ситуация е следното. Съгласно фиг. 2 при 40° с.ш. имаме положителен максимум на термичния лапласиан ( $\nabla^2\delta\theta > 0$ ), а при 30° с.ш. – отрицателен минимум на орографския лапласиан ( $\nabla^2z_0 < 0$ ).

В съответствие с (3) в първия случай  $\frac{\partial\Phi_T}{\partial t} > 0$ , а във втория  $\frac{\partial\Phi_{or}}{\partial t} > 0$ , т.е. и в двата случая имаме максимално благоприятни условия, формиращи двата локални максимума на АЦГ: при 40° – по термични, а при 30° с.ш. – по орографски причини. Тяхната раздалеченост обяснява и наблюдаваната по-широка (разлята) област на АЦГ в този случай.

Да се спрем сега на зимния ЦГ, чийто максимум е при 38° с.ш. (фиг. 1), при съответстващия му отрицателен максимум на термичния лапласиан ( $\nabla^2\delta\theta < 0$ ) и положителен орографски лапласиан ( $\nabla^2z_0 > 0$ ) също при 38° с.ш. Съгласно (3) следва, че  $\frac{\partial\Phi_T}{\partial t} < 0$ ,  $\frac{\partial\Phi_{or}}{\partial t} < 0$ , т.е. двата фактора действат еднопосочно и формират разгледаната зона на ЦГ.

Като цяло може определено да се счита, че изложените по-горе резултати потвърждават напълно оценките на теоретичната постановка (3) за ролята на двата лапласиана във формиране на АЦГ- и ЦГ-зони.

Що се касае до южното полукуълбо, то тук проблемът е сравнително по-слабо изразен. Но на базата на някои задълбочени изследвания [1, 11, 12] (допълнени в следствие с някои по-нови резултати, не променящи обаче по същество фундамента на тези изследвания) могат да се направят редица важни изводи. Оказва се, че генезните процеси (ЦГ, АЦГ) се отдръпват към по-ниските ширини и се съсредоточават основно около тропичните ширини (даже и по-ниските), като при това сезонните различия са в по-голяма степен

изгладени в сравнение със северното полукълбо и влиянието на термичния фактор преобладава като цяло спрямо орографския.

Така например, ЦГ през летния сезон е съсредоточен в субтропичните (или още по-ниски) ширини (примерно 15–25° ю.ш.), на което съответства добра корелация с термичния фактор – максимален отрицателен термичен лапласиан  $\nabla^2\delta\theta < 0$  при около 20° ю.ш. (фиг. 2), при който формула (3) следва условието  $\frac{\partial\Phi_T}{\partial t} < 0$  за ЦГ.

Същевременно условията за орографски ЦГ са по-неблагоприятни, ако може да се счита, че термичният фактор играе тук водеща роля.

Климатичните данни за южното полукълбо показват, че, независимо от сезона, АЦГ се концентрира също основно около субтропичните ширини (30° ю.ш.).

Да обясним този факт. Съгласно фиг. 2 на тази ширина както през летния, така и през зимния сезон съответстват максимални положителни термични лапласиани  $\nabla^2\delta\theta > 0$  и същевременно максимален отрицателен орографски лапласиан  $\nabla^2z_0 < 0$ .

В съответствие с (3)  $\frac{\partial\Phi_T}{\partial t} > 0$  и  $\frac{\partial\Phi_{or}}{\partial t} > 0$ , т.е. едновременно са налице както термични, така и орографски благоприятни условия, с което се обяснява формирането на разглежданата зона на АЦГ.

#### 4. АНАЛИЗ НА ДВИЖЕНИЕТО НА БАРИЧНИТЕ ОБРАЗОВАНИЯ (Ц, АЦ) СПРЯМО ТЕХНИТЕ ГЕНЕЗНИ ЗОНИ (ЦГ, АЦГ)

Широко известен и много важен факт е, че както в северното, така и в южното полукълбо в статистико-климатичен аспект след процесите на ЦГ и АЦГ за новообразувалите се барични образувания съществува силно изразена тенденция за тяхното преместване – за циклоните към полюсите, а за антициклоните (макар и в по-малка степен) – към екватора. Тези ефекти най-ясно са изразени при зонално осреднение. Така например, за циклоните в северното полукълбо това нагледно е отразено на фиг. 1.

От сравнението на кривите ЦГ и Ц съответно с АЦГ и АЦ се вижда, че разстоянието между техните максимуми (хоризонталните пунктирни прави) дава точно коментираните премествания на циклоните от генезните им области към местата с най-голяма тяхна повтораемост (в посока към полюса). Типичната средна стойност на тези премествания е около 15°. Ситуацията при антициклоните е различна – преместването от генезните зони е към екватора и на по-малки разстояния.

За обяснение на тези важни процеси ще използваме получените в [3, 5] общи формули за приземните траектории на баричните образувания Ц и АЦ,

отчитащи съвместното влияние на орографско-термичните нееднородности, триенето и бароклинността в ПГС върху тях. За решаване на поставената по-горе задача при използване на стандартна координатна система и зонално осреднение основна роля играят меридионалните компоненти (по широтинно ориентираната към полюса координатна ос  $y$ ) на скоростта ( $v_{c\delta\theta}$ ,  $v_{cz_0}$ ) и съответната вертикална завихреност ( $\Omega_{c\delta\theta}$ ,  $\Omega_{cz_0}$ ) в центъра на баричното образуване. Съгласно [3] в разглеждания частен случай на зонално осреднение:

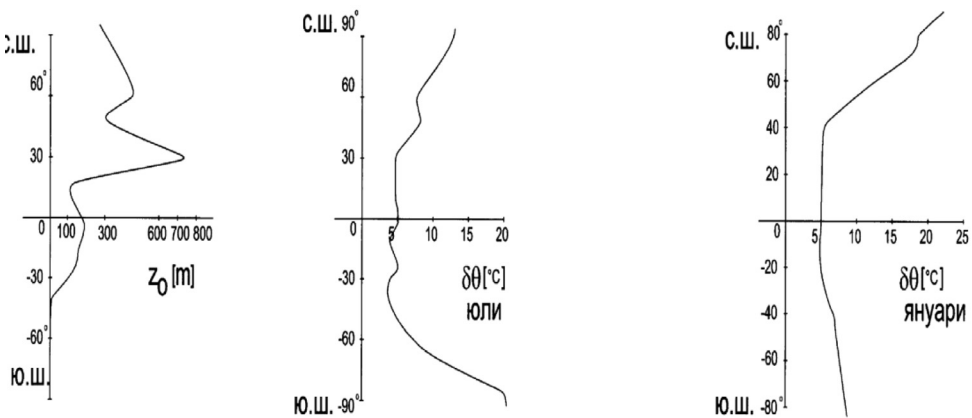
$$v_{c\delta\theta} = -a \frac{d\delta\theta}{dy}, \quad (4)$$

$$v_{cz_0} = -a_1 \frac{dz_0}{dy}, \quad (5)$$

$$\Omega_c = c_0 \frac{g}{f} (\Omega_{c\delta\theta} + \Omega_{cz_0}), \Omega_{c\delta\theta} = a_1 \nabla^2 \delta\theta, \Omega_{cz_0} = (1+a) \nabla^2 z_0, \quad (6)$$

където  $\delta\theta(y)$ ,  $z_0(y)$ ;  $\nabla^2 \delta\theta = d^2 \delta\theta / dy^2$ ,  $\nabla^2 z_0 = d^2 z_0 / dy^2$  са съответните зонално осреднени параметри,  $a \approx d$  (т.е.  $a > 0$ ) и  $a_1 \approx d_1$  (т.е.  $a_1 > 0$ ) са теглови коефициенти,  $g$  – земно ускорение,  $f$  – параметър на Кориолис.

Базовите параметри, характеризиращи движението на баричните центрове при земята (4)–(6), еднозначно се определят от зонално климатично осреднените орография  $z_0(y)$  и термична топография  $\delta\theta(y)$ , показани на фиг. 3.



**Фиг. 3.** Средно меридионално разпределение на термичния параметър  $\delta\theta$  през януари и юли [10] и орографията  $z_0$

Съгласно теоретичната постановка (4)–(6) циклоните се преместват към места, където  $\theta$  нараства ( $d\theta / dy > 0$ ), т.е. увеличава се степента на устойчивост на атмосферата, и места, където  $z_0$  намалява ( $dz_0 / dy^2 < 0$ ). С други думи, сумарно погледнато, циклоните се насочват към области, където коефициентът на съпротивление намалява (засилване на устойчивостта и намаляване височината на орографията), което е напълно физически очаквано. В съответствие с критерия (6) най-благоприятно условие при движението на циклоните е условието за съхранение на знака на циклоналия вихър,  $\Omega_c > 0$ . Този фактор е особено важен при движението на антициклоните, когато благоприятно е условието  $\Omega_c < 0$ , при което те се интензифицират. В рамките на този процес може да се стигне до промяна на посоката на движение, така че  $v_{c\delta\theta}$  и  $v_{cz_0}$  да сменят знаците си (в сравнение с тези при циклоните), с оглед съхранение на условието  $\Omega_c < 0$ .

Нека приложим сега теоретичната постановка (4)–(6) за обяснение на наблюдаваните премествания на Ц и АЦ.

От фиг. 1 се вижда, че в северното полукълбо през летния сезон циклоните се придвижват от зоната на ЦГ (около  $48^\circ$  с.ш.) в посока до зоната на максимална тяхна повтораемост (около  $60^\circ$  с.ш.). В този широтинен интервал на тяхното движение в съответствие с фиг. 2 и 3:  $d\delta\theta / dy > 0$ ;  $dz_0 / dy < 0$ ; и съгласно (4), (6) както термичната, така и орографската меридионални компоненти са положителни ( $v_{c\delta\theta} > 0$ ,  $v_{cz_0} > 0$ ), т.е. движението на циклоните е в посока към полюса. Движението се ограничава до  $60^\circ$  с.ш., тъй като около тази ширина започва нарастване на средната зонална орография, което възпрепятства по-нататъшното му развитие.

Да се спрем сега на движенията на циклоните в северното полукълбо през зимния сезон. От фиг. 1 се вижда, че те също се преместват от зоната на ЦГ (около  $38^\circ$  с.ш.) в посока на полюса до зоната на максимална тяхна повтораемост (около  $55^\circ$  с.ш.). В широтинния интервал на тяхното преместване в съответствие с данните от фиг. 2 и 3:  $dz_0 / dy < 0$ ,  $d\delta\theta / dy > 0$ ,  $\nabla^2 z_0 > 0$ ,  $\nabla^2 \delta\theta < 0$  и въз основа на (4), (5) получаваме  $v_{c\delta\theta} > 0$ ,  $v_{cz_0} > 0$ , обясняващи наблюдаваното движение на циклоните (фиг. 1) и през зимния сезон в посока към полюса.

Може да се каже, че теоретичната постановка (4)–(6) напълно обяснява климатичните движения на циклоните в северното полукълбо както през летния, така и през зимния сезон.

Да разгледаме движенията на антициклоните в северното полукълбо. Ще започнем със зимния сезон. Както се вижда от фиг. 1, зоната на активен АЦГ е между  $30$  и  $40^\circ$  с.ш., докато зоната на максимална повтораемост на АЦ е  $30^\circ$  с.ш. Основна причина за това е наличието на един доминиращ фактор – лапласианът  $\nabla^2 z_0$  има при  $30^\circ$  с.ш. абсолютен, много голям отрицателен максимум, т.е.  $\nabla^2 z_0 < 0$ , и съгласно (6)  $\Omega_{cz_0} < 0$  представлява антициклониче и много мощен вихър. Поради тази причина образувалите се



антициклони след АЦГ се привличат и задържат в мощната антициклонална зона на завихреност около  $30^\circ$  с.ш. Подобна е картината през летния сезон, когато зоната на максимална повтораемост на антициклоните (АЦ) е около  $42^\circ$  с.ш. и е изместена спрямо зоната на АЦГ (около  $48^\circ$  с.ш.) на  $6-7^\circ$  в посока към екватора. Трябва да се отбележи, че за разлика от циклоните тенденциите за преместване на антициклоните са по-малко интензивни, по-сложни по характер.

Да обсъдим сега накратко някои от особеностите на движенията на баричните образувания в южното полукълбо. Извесно е, че циклоните, формирани в зоната на ЦГ ( $25-30^\circ$  ю.ш.), имат тенденция да се преместват около  $15$  градуса в посока към полюса, т.е. в района  $40-45^\circ$  ю.ш. и през двата сезона. В зоната на преместване ( $30-45^\circ$  ю.ш.), както се вижда от фиг. 3,  $\delta\theta(y)$  е растяща, а  $z_0(y)$  е намаляваща функция на  $y$ , т.е.  $d\delta\theta / dy > 0$  и  $dz_0 / dy < 0$ . Но тогава съгласно (4) и (5) следва, че  $v_{c\delta\theta} > 0$ ,  $v_{cz_0} > 0$ , което обяснява движението на циклоните към полюса.

Що се касае до антициклоните, климатичните данни показват, че те обикновено се концентрират около тропичните ширини (около  $30^\circ$  ю.ш.). От фиг. 2 се вижда, че на тази ширина лапласианите на температурата  $\nabla^2\delta\theta$  през двата сезона имат значителни положителни стойности ( $\nabla^2\delta\theta > 0$ ), а орографският лапласиан  $\nabla^2z_0$  – максимална отрицателна стойност ( $\nabla^2z_0 < 0$ ). Съгласно (6) имаме  $\Omega_{\delta\theta} < 0$ ,  $\Omega_{cz_0} < 0$ , което води до формиране около  $30^\circ$  ю.ш. на мощен антициклонален вихър ( $\Omega_c = (\Omega_{c\delta\theta} + \Omega_{cz_0}) < 0$ ), в резултат на което се получава привличане и задържане на антициклоните около тази ширина и се възпрепятства тяхното движение към полюса. Напротив, макар и немного голямо, има преместване в посока на екватора.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитият подход позволява да се установи важната роля на орографския и термичния лапласиан във формиране на зоните на генез на циклоните и антициклоните. Показано е, че след възникването им циклоните се движат към места с нарастваща термична устойчивост на атмосферата и намаляваща височина на орографията, т.е. към зоните с най-малък коефициент на съпротивление. Допълнително условие е запазване знака на съответната завихреност на циклоните и антициклоните. Ако последното условие се нарушава, баричното образувание постепенно се разрушава, и обратно, при условия, усилващи неговата завихреност, то се интензифицира.

На базата на тези общи принципи в настоящата работа са изследвани и обяснени редица важни климатични особености на генеза и движението на баричните образувания при зонално осреднение.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Palmen, E., C. Newton. Atmospheric Circulation Systems. New York, London, 1969.
- [2] Гodeв, Н. Синопична метеорология. София, 1976.
- [3] Сираков, Е. Атмосферен граничен слой – структура, параметризация, взаимодействия. София, 2011.
- [4] Гodeв, Н. *Бълг. геофизи. спис.*, 1975, **1**, 43.
- [5] Сираков, Е. *Zb. Met. i Hidr. Rad.*, 1985, **12**, 200.
- [6] Сираков, Е, Й. Боневиц, М. Цанков. *Ann. SU, Fac. of Phys.*, 2014, **107**.
- [7] Цанков, М. *Ann. de l'Uni. de Sofia, Fac. de Phys.*, 2007, **100**, 93.
- [8] Цанков М. *Ann. de l'Uni. de Sofia, Fac. de Phys.*, 2008, **101**.
- [9] Pettersen, S. *Cent. Proc. Roy. Meteor. Soc.*, 1950, p.120.
- [10] Витвуцкий, Г. Зокольность климата земли. Москва, 1980.
- [11] Van Loon. *Appl. Meteorol.*, 1965, **4**, 479.
- [12] Taljaard, J. *Appl. Meteorol.*, 1967, **6**, 973.