



Софийски университет „Св. Климент Охридски“  
Физически факултет  
Катедра „Метеорология и геофизика“

Йенс Боневиц

**Параметризация и анализ на орографски ефекти в  
граничния слой, свързани със синоптични процеси**

**АВТОРЕФЕРАТ  
на  
ДИСЕРТАЦИЯ**

За получаване на образователна и научна степен „доктор“  
По специалност „Метеорология“, шифър 01.04.11  
(„Науки за земята, шифър 4.4“)

НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ:

проф. дфн Е. Сираков

НАУЧЕН КОНСУЛТАНТ:

доц. д-р С. Евтимов

София, 2016

# Съдържание

<b>Обща характеристика на дисертационния труд</b> .....	1
<b>Глава 1. Хоризонтално нееднороден ПГС: теоретични основи</b> .....	2
<b>1.1. Вертикална скорост на горната граница на хоризонтално нееднородния ПГС</b> .....	2
1.1.1. Постановка на задачата. Граничен слой на Екман.....	2
1.1.2. Коефициент на турбулентно триене и височина на хоризонтално нееднородния ПГС.....	2
1.1.3. Вертикална скорост на горната граница на хоризонтално нееднородния ПГС.....	3
1.1.4. Вертикална скорост на горната граница на хоризонтално нееднородния ПГС: допълнителен анализ.....	3
<b>1.2. Приложение към синоптичните вихри</b> .....	4
1.2.1. Вертикална скорост на горната граница на хоризонтално нееднородния ПГС и вихрогенез.....	4
1.2.2. Вертикална скорост на горната граница на хоризонтално нееднородния ПГС и траекториите на синоптичните вихри.....	4
<b>Глава 2. Синоптични приложения</b> .....	5
<b>2.1. Влияние на обтичане на орографско-термичните хоризонтални нееднородности върху синоптичните процеси</b> .....	5
2.1.1. Постановка на задачата.....	5
2.1.2. Два моделни примера за влияние на орографията.....	6
2.1.3. Моделни примери за влияние на $\delta\theta$ -топографията.....	7
2.1.4. Съвместно влияние на орографията и $\delta\theta$ -топографията. Условия за максимален вихрогенез.....	8
2.1.5. Някои синоптични приложения.....	8
<b>2.2. Влияние на орографски и термични фактори в ПГС върху траекториите на синоптичните вихри</b> .....	12
2.2.1. Постановка на задачата.....	12
2.2.2. Изходни данни, предварителна обработка и пресмятания.....	13
2.2.3. Два примера: циклон и антициклон.....	14
2.2.4. Статистически анализ.....	18
<b>Глава 3 Климатични приложения</b> .....	21
<b>3.1. Корелативни връзки на орографската и <math>\delta\theta</math>-топографията с някои климатични процеси</b> .....	21
3.1.1. Постановка на задачата.....	21
3.1.2. Изходни данни, предварителна обработка и пресмятания.....	22
3.1.3. Лапласиани на $\delta\theta$ -топографията и орографията и климатичните зони на активен вихрогенез.....	24
3.1.4. Лапласиани на $\delta\theta$ -топографията и орографията и атмосферните центрове на действие.....	25
3.1.5. Крупномасабни нееднородности на $\delta\theta$ -топографията и климатичните фронтове.....	27
<b>3.2. Климатичен анализ на движението на синоптичните вихри относно зоните на максимален вихрогенез</b> .....	27
3.2.1. Постановка на задачата и използвани данни.....	27

3.2.2. Зонално осреднени орография, $\delta\theta$ -топография и движението на синоптичните вихри относно зоните на максимален вихрогенез.....	29
<b>Заключение.....</b>	<b>30</b>
<b>Публикации.....</b>	<b>31</b>
<b>Приноси на дисертационния труд.....</b>	<b>32</b>
<b>Литература.....</b>	<b>32</b>
<b>Благодарности.....</b>	<b>33</b>

# Обща характеристика на дисертационния труд

**Актуалност и мотивировка на темата.** Параметризацията и влиянието върху различни атмосферни процеси на хоризонтално-нееднородния ПГС е тематика с традиции в българската метеорология. С приноси в това направление са изтъкнатите български учени Н. Годев, С. Панчев, Д. Йорданов, Е. Сираков, а също и ред други изследователи. Настоящата дисертационна работа продължава тази традиция. Нейната актуалност се обуславя от конкретизирането на известни, общи теоретични резултати с ударение върху последното им прилагане към широк кръг, неизследвани в подобна светлина, атмосферни процеси и явления от синоптичен и климатичен мащаб.

**Цел и структура на дисертационния труд.** Работата е фокусирана върху два типа хоризонтална нееднородност на ПГС, а именно орографията и хоризонталните изменения на статичната устойчивост. Целите на дисертацията са както следва. (i) формулировка и обосноваването на прости, нагледни правила за влиянието на орографско-термична нееднородност на ПГС върху движението на отделните синоптичните вихри, (ii) изследване на влиянието на глобалната орографско-термична нееднородност на ПГС върху вихрогенеза и сезонното придвижване на синоптичните вихри в климатичен мащаб, (iii) анализ на сезонните пространствени корелации между крупномащабните орографско-термични нееднородности на ПГС и сезонните зони на максимален вихрогенез, постоянните или сезонните атмосферни центрове на действие, а също и средните климатични фронтове и (iv) подробно изследване на ефектите от обтичането на някои типични, моделни профили на орографско-термичните нееднородности на ПГС с оглед на анализа и диагностиката на някои метеорологични явления и процеси от синоптичен мащаб.

Дисертационната работа включва увод, три глави, заключение, едно приложение, цитираната литература и списък публикациите свързани с дисертацията. Всяка глава е разделена на две секции структурирани еднотипно; поставяне на задачите и целите, описание на използваните данни, тяхната предварителна обработка и пресмятания и параграфи с проведения анализ, получените резултати и тяхната интерпретация. Глава 1 излага интегралната параметризация на стратифицирания, бароклинен, орографско нееднороден ПГС и неговото влияние върху синоптичните вихри. Глава 2 изследва ефектите от хоризонталните орографско-термични нееднородности в ПГС върху процесите от синоптичен мащаб. Глава 3 изследва влиянието на хоризонталните, орографско-термични нееднородности в ПГС върху процесите от климатичен мащаб. Заключението резюмира получените резултати и очертава приносите на дисертационния труд. В Приложение А са приведени някои сведения и данни свързани със втората секция на Глава 2.

**Метод на изследванията.** Използваните методи на изследване са: (i) параметризация на ПГС, аналитични и числени пресмятания. (ii) анализ и интерпретация на картова и спътникова метеорологична информация (iii) дескриптивни и тестови статистически техники.

**Обща характеристика на научните приноси.** Аргументират се прости правила за отклоненията на синоптичните вихри от водещия поток поради влиянието на орографско-термичните нееднородности в ПГС. Изследват се полетата на вертикалната скорост генерирани от обтичането на типични, моделни профили на орографско-термичните нееднородности в ПГС и е демонстрирана тяхната ефективност за анализа и диагностиката на различни метеорологични явления и процеси от синоптичен мащаб. Установяват се значителни пространствени корелации между климатичните зони на активен вихрогенез, постоянните и сезонните центрове на действие в атмосферата и средните климатични атмосферни фронтове от една страна и сезонните полета на хоризонталните орографско-термични нееднородности в ПГС от друга. Установява се връзка между отместването на зоните на максимален вихрогенез и максимална повтаряемост в меридионалното разпределение на синоптичните вихри, а също асиметрията циклон-антициклон и отклоняващото действие върху преместването на вихрите на зонално осреднените орографско-термични нееднородности в ПГС.

**Практическо значение.** Подобряване на синоптичните и числени прогнози над райони с по-значителни орографско-термични нееднородности.

# Глава 1

## Хоризонтално нееднороден ПГС: теоретични основи

Липсата на методи за измерване на вертикални движения, генерирани от ПГС, налага те да се пресмятат. В тази глава се дава интегрална параметризация на стратифицирания, бароклинен, хоризонтално-нееднороден ПГС и неговото влияние върху синоптичните вихри.

### 1.1. Вертикална скорост на горната граница на хоризонтално нееднородния ПГС

#### 1.1.1. Граничен слой на Екман

Общата физико-математична формулировка на задачата за хоризонтално-нееднороден ПГС е изложена подробно в Сираков (2011).

За генерираната на върха  $H$  на ПГС вертикалната скорост  $w_H$ , класическото решение на Екман дава:

$$w_H = w(z = H) \cong w(\infty) = c \Omega_{g0}, \quad (1.4)$$

където  $w$  е вертикалната скорост,  $c = \sqrt{2k_z / f}$  е коефициента на триене ( $k_z$  е коефициента на вертикален турбулентен обмен и  $f$  е параметъра на Кориолис),  $\Omega_{g0} = \mathbf{e}_z \cdot (\nabla \times \mathbf{u}_{g0})$  е геострофния вихър ( $\mathbf{e}_z$  е единичния вектор в локалния зенит и  $\mathbf{u}_{g0}$  е баротропния геострофен вятър при земята).

Това при равна подложна повърхност. Орографията  $z = z_0(x, y)$  добавя кинематичната скорост от идеално обтичане  $w_I = (\mathbf{u}_{g0} \cdot \nabla) z_0$  и скоростта на горната граница става:

$$w_H = w_I + c \Omega_{g0}. \quad (1.5)$$

Ввижда се, че ефектът от орографията се отразява адитивно. Към скоростта от “чистото” триене се добавя вертикалната скорост от идеалното обтичане. Формулата (1.5) остава в сила и когато коефициентът на турбулентно триене зависи само от височината, но полученият израз е сложен (Сираков, 2011).

#### 1.1.2. Коефициент на турбулентно триене и височина на хоризонтално нееднородния ПГС

Анализът показва, че нови, допълнителни към тези в (1.5), ефекти възникват само когато коефициентът на турбулентно триене зависи и от хоризонталните координати (Годев, 1976; Панчев, 1977). В този случай основна роля играе средният по височината на граничния слой коефициент на турбулентно триене  $k$  и ключовият въпрос е неговия конкретен вид.

Сираков (1979, 2011) и Syrakov (1985) определя явния вид на средния коефициент на турбулентно триене и височината на стратифицирания, бароклинен, хоризонтално орографски нееднороден ПГС чрез базираната на уравнението на турбулентната кинетична енергия, метод на интегралната параметризация. Оказва се, че средният коефициент на турбулентно триене зависи само от т.нар. планинско число на Росби  $\tilde{R}_0 = G_0 / f z_0$  ( $G_0 = |\mathbf{u}_{g0}|$ ) и обобщеният параметър на стратификация  $\tilde{S} \equiv \beta \delta \tilde{\theta} / f G_0$ , където  $\beta$  е параметъра на конвекция и  $\delta \tilde{\theta}$  е обобщения температурен дефект в нееднородния ПГС. Температурният дефект от своя страна е линейна комбинация от дефекта на потенциалната температура, т.е. разликата между потенциалната температура на горната граница на ПГС и при земята, аналогичния дефект на специфичната влажност и още едно събираемо, свързано с адвективно-бароклинната хоризонтална нееднородност. За по-кратко, по аналогия с орографията ние наричане дефекта на

потенциалната температура  $\delta\theta$ -топография. Физичният смисъл на  $\delta\theta$ -топографията е мярка за локалната статична устойчивост на ПГС.

Описаната интегрална параметризация съдържа като частни случаи извесните параметризации на Гандин и Дубов (1968), Хана-Лайхтман и Deardorff (Araya, 1981).

### 1.1.3. Вертикална скорост на горната граница на хоризонтално-нееднородния ПГС

Сираков (1985; 2011) използва изложената по-горе интегрална параметризация в линейно и нелинейно итерационно приближение и след редица преобразувания и пренебрегване на някои малки членове, получава обща формула за вертикалната скорост на горната граница на хоризонтално нееднородния ПГС. Оказва се, че в (1.5) адитивно се добавят три поправки свързани съответно с планинското число на Росби, обобщения параметър на стратификация и адвективно-бароклинната хоризонтална нееднородност. В случая само на орография и  $\delta\theta$ -топография поправките се редуцират до:

$$\begin{aligned}\Delta w_{or} &= \Delta w_{\tilde{R}_0} = a(\mathbf{u}_{g0} \cdot \nabla) z_0 + b \mathbf{e}_z \cdot (\nabla z_0 \times \mathbf{u}_{g0}) - d G_0^2 \nabla^2 z_0 - \dots \\ &\quad e \mathbf{u}_{g0} \cdot (\hat{\mathbf{I}}_r \cdot \mathbf{u}_{g0}) \partial^2 z_0 / \partial x \partial y, \\ \Delta w_{\delta\theta} &= \Delta w_{\tilde{S}} = a_1(\mathbf{u}_{g0} \cdot \nabla) \delta\theta + b_1 \mathbf{e}_z \cdot (\nabla \delta\theta \times \mathbf{u}_{g0}) - d_1 G_0^2 \nabla^2 \delta\theta - \dots \\ &\quad e_1 \mathbf{u}_{g0} \cdot (\hat{\mathbf{I}}_r \cdot \mathbf{u}_{g0}) \partial^2 \delta\theta / \partial x \partial y, \\ a &= b = \partial c / \partial z_0, \quad d = \sqrt{2} a / 60 f, \quad e = 5 d / 2, \\ a_1 &= b_1 = \partial c / \partial \delta\theta, \quad d_1 = \sqrt{2} a_1 / 60 f, \quad e_1 = 5 d_1 / 2,\end{aligned}\tag{1.15}$$

където  $\Delta w_{or}$  е орографската поправка,  $\Delta w_{\delta\theta}$  е поправката за  $\delta\theta$ -топографията,  $\delta\theta$  е дефекта на потенциалната температура,  $\hat{\mathbf{I}}_r = \text{diag}(1, -1)$  е матрицата на отражение, константите  $a, b, d$  и  $e$  са строго положителни, а  $a_1, b_1, d_1$  и  $e_1$  са строго отрицателни.

Първата формула (1.15) е предложена от Godev (1970) и е използвана за анализа на влиянието на орографията върху различни синоптични процеси от Yordanov and Godev (1973), Гоев (1976), Панчев (1977); Godev and Syrakov (1984) и Сираков (2011). Втората формула е предложена от Syrakov (1985) за описанието на ефектите свързани с  $\delta\theta$ -топографията.

### 1.1.4. Вертикална скорост на горната граница на хоризонтално нееднородния ПГС: допълнителен анализ

И така, при наличието само на орография и  $\delta\theta$ -топография вертикалната скорост на върха на ПГС се дава с  $w_H = w_I + c\Omega_g + \Delta w_{or} + \Delta w_{\delta\theta}$ . За практическите приложения е удобно да представим тази вертикална скорост геометрически.

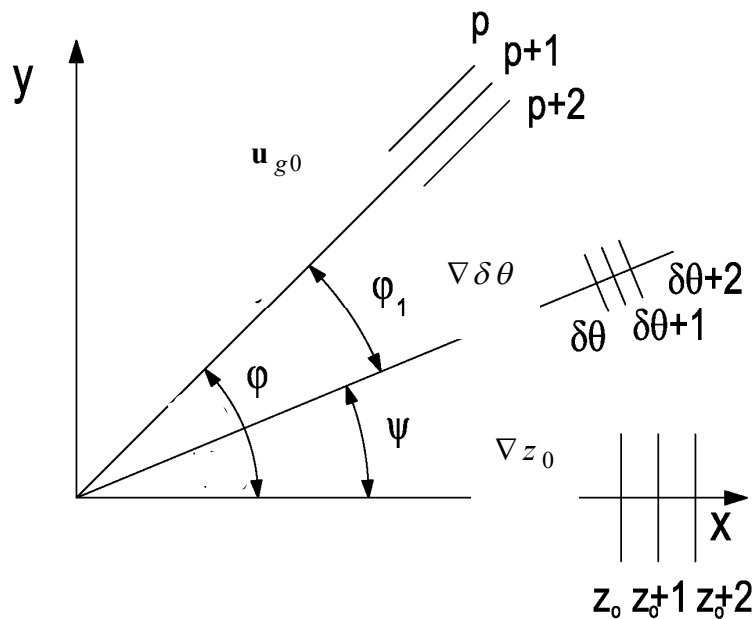
За целта въвеждаме ъгъла на обтичане на орографията  $\varphi$  между градиента на топографията и геострофния вятър при земята и характеризирания взаимното разположение между орографските и термичните нееднородности, ъгъл  $\psi = \varphi - \varphi_1$ , където  $\varphi_1$  е ъгъла между  $\nabla \delta\theta$  и  $\mathbf{u}_{g0}$ . Тези ъгли са изобразени на фиг.1. На фигурата хоризонталната ос е по градиента на орографията, късите успоредни плътни линии схематизират съответните изолинии,  $p$  е налягането, а останалите означения са вече въведени. С помощта на тези ъгли и известни преобразувания от (1.15) получаваме:

$$\begin{aligned}w_H &= c\Omega_{g0} + G_0 |\nabla z_0| \sqrt{(1+a)^2 + b^2} [\sin(\varphi + \varphi_0) - E \sin(\varphi + \psi + \varphi_0 + \psi_0)] - \dots \\ &\quad - G_0^2 [d \nabla^2 z_0 + d_1 \nabla^2 \delta\theta] - \mathbf{u}_{g0} \cdot (\hat{\mathbf{I}}_r \cdot \mathbf{u}_{g0}) [e \partial^2 z_0 / \partial x \partial y + e_1 \partial^2 \delta\theta / \partial x \partial y],\end{aligned}\tag{1.17}$$

където  $tg \varphi_0 = (1+a)/b$ ,  $tg \psi_0 = [b_1(1+a) - b a_1]/[a_1(1+a) + b_1 b]$ , а параметърът

$$E = \sqrt{a_1^2 + b_1^2} |\nabla \delta \theta| / \sqrt{(1+a)^2 + b^2} |\nabla z_0| \quad (1.18)$$

е безразмерен и характеризира относителния принос на термичните и орографските нееднородности във формирането на вертикалната скорост.



Фиг. 1. Схема на взаимно разположение на орографията,  $\delta\theta$ -топографията и геострофия вятър.

## 1.2. Приложение към синоптичните вихри

### 1.2.1. Вертикална скорост на горната граница на хоризонтално нееднородния ПГС и вихрогенез

Вертикалната скорост на горната граница на ПГС може да се свърже с тенденцията на геопотенциала с опростената формула на Марчук (1967):

$$\partial \Phi / \partial t = c_0 w_H, \quad (1.19)$$

където  $c_0 \approx 0.3$ .

Доколкото при антициклогенез тенденцията на геопотенциала е положителна, а при циклогенез отрицателна, то от (1.19) следва, че положителните или отрицателните вертикални скорости на горната граница на ПГС предполагат съответно антициклогенез или циклогенез.

### 1.2.2. Вертикална скорост на горната граница на хоризонтално нееднородния ПГС и траекториите на синоптичните вихри

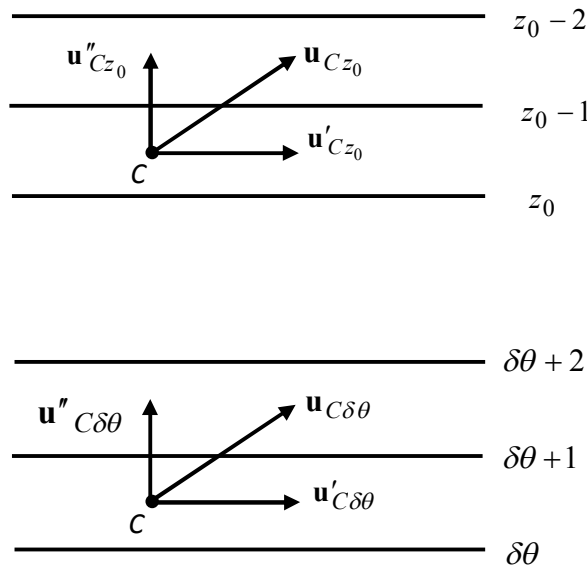
Използвайки (1.15), Syrakov (1985) получава следния израз за кинематичната скорост на преместване на центровете на синоптичните вихри:

$$\mathbf{u}_C = c_0 (g/f) (\mathbf{u}_{Cz_0} + \mathbf{u}_{C\delta\theta} + \mathbf{u}_{C\delta k}) \quad (1.21)$$

където:

$$\begin{aligned}
\mathbf{u}_{Cz_0} &= (1+a)\mathbf{e}_z \times \nabla z_0 - b \nabla z_0, \\
\mathbf{u}_{C\delta\theta} &= a_1 \mathbf{e}_z \times \nabla \delta\theta - b_1 \nabla \delta\theta, \\
\mathbf{u}_{C\delta k} &= -f_1 \mathbf{e}_z \times \nabla \bar{T}.
\end{aligned}
\tag{1.22}$$

Фигура 2 представя случая на прави изолинии. На горната рисунка е орографията, на долната  $\delta\theta$ -топографията. Центърът на вихъра е означен с  $C$ . Както се вижда резултатното преместване на центъра в следствие на хоризонталните нееднородности е към по-ниските места в случая само на орография и към по-силната устойчивост в случая на  $\delta\theta$ - топография.



**Фиг. 2.** Скорост на преместване на центровете на синоптичните вихри при праволинейни изолинии на орографията (горе) и  $\delta\theta$ -топографията (долу).

При наличието и на двата типа нееднородности скоростта на преместването на центъра е векторна сума от тези две скорости и зависи от взаимното разположение на нееднородностите.

## Глава 2

### Синоптични приложения

Планетарният граничен слой оказва влияние върху атмосферните процеси чрез генерираните вертикални скорости. Тази глава изследва ефектите от хоризонталните нееднородности на орографията и  $\delta\theta$ -топографията върху процесите от синоптичен мащаб.

#### 2.1. Влияние на обтичане на орографско-термичните хоризонтални нееднородности върху синоптичните процеси

##### 2.1.1. Постановка на задачата.

Второто събираемо в формула (1.17) описва различните режими на обтичане. То съществено зависи от посоката на геострофния вятър и взаимното разположение на двата типа нееднородности. Поради това тези ефекти са съществени при конкретните синоптични ситуации. След пренебрегването на останалите събираеми от (1.17) получаваме:



$$w_H = G_0 |\nabla z_0| \sqrt{(1+a)^2 + b^2} [\sin(\varphi + \varphi_0) - E \sin(\varphi + \psi + \varphi_0 + \psi_0)]. \quad (2.1)$$

Целта на тази секция е на основа на (2.1) да бъдат анализирани подробно полетата на вертикалната скорост генерирани от обтичането на някои типични, моделни профили на орографията и  $\delta\theta$ -топографията и получените резултати да се приложат за анализ и диагностика на реални метеорологични явления и процеси.

### 2.1.2. Два моделни примера за влияние на орографията

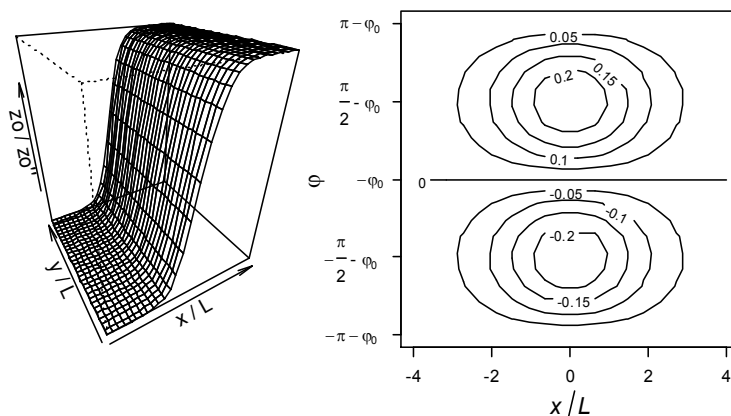
В случая само на орография вертикалната скорост се дава от (2.1) след формалния граничен преход  $E \rightarrow 0$ . Тук ще разгледаме два моделни профила на орографска нееднородност - преходна зона и хребет.

Преходната зона между две хоризонтални равнини с височини  $z'_0$  и  $z''_0$  ще зададем с формулата (Syrakov and. Chervenkov, 2001; Сираков, 2011):

$$z_0(x) = [z'_0 + n z''_0 \exp(x/L)] / [1 + n \exp(x/L)], \quad (2.3)$$

където  $L$  е ефективната широчина на зона по перпендикулярната на зоната ос  $x$  и  $n$  е положителна константа с варирането на която може да се постигне различен вид на прехода между  $z'_0$  и  $z''_0$ . Левият панел на фиг. 3 визуализира в безразмерни координати формата на преходната зона при  $n = 1$  и  $z'_0 = 0$ .

Задачата има аналитично решение. Неговото изследване показва, че в равнината на течението има разделителното направление  $-\varphi_0$  за ъгъла на обтичане при преминаването през което вертикалните скорости сменят посоката си. Ситуацията е илюстрирана с десния панел на



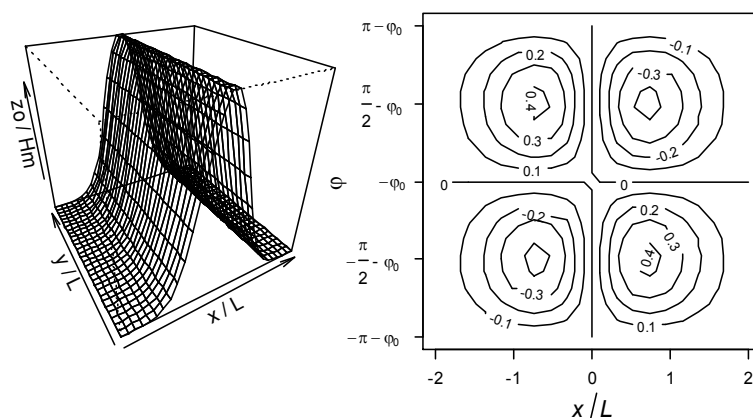
**Фиг. 3.** Релеф на преходната зона (ляво) и контурна диаграма на безразмерната вертикална скорост като функция на разстоянието и ъгъла на обтичане (дясно).

фиг. 3 даващ безразмерната вертикална скорост  $w_{or} / \sqrt{(1+a)^2 + b^2} [|z''_0 - z'_0|/L] G_0$  като функция на безразмерното разстояние и ъгъла на обтичане.

Вторият пример е моделен орографски хребет, задаващ се аналитично с формулата:

$$z_0(x) = H_m \exp(-x^2 / L^2), \quad (2.5)$$

където  $H_m$  е максималната височина на хребета, а  $L$  е характерната му полуширина. Този хребет е визуализиран в безразмерни координати на левия панел на фиг. 4.



**Фиг. 4.** Релеф на хребета (ляво) и контурна диаграма на безразмерната вертикална скорост като функция на безразмерното разстояние и ъгъла на обтичане (дясно).

Задачата отново има аналитично решение. Неговото изследване показва, че в равнината на течението има разделителното направление  $-\varphi_0$  за ъгъла на обтичане при преминаването през което картината на генерираните вертикалните скорости качествено се променя. Ситуацията е илюстрирана с десния панел на фиг. 4, представящ безразмерната вертикална скорост  $w_{or} / 2\sqrt{(1+a)^2 + b^2} (H_m / L) G_0$  като функция на безразмерното разстояние и ъгъла на обтичане.

### 2.1.3. Моделни примери за влияние на $\delta\theta$ -топографията

Наред с орографските ефекти, синоптичните процеси могат съществено да зависят и от термичните ефекти, свързани с  $\delta\theta$ -топографията (Syrafov and Chervenkov, 2001). Смятайки, че орографията липсва, от (2.1) като частен случай при  $a = b = 0$  получаваме, описващата в чист вид ефектите от  $\delta\theta$ -топографията, формула:

$$w_{\delta\theta} = -\sqrt{a_1^2 + b_1^2} G_0 |\nabla \delta\theta| \sin[\varphi_1(x, y) + \varphi_{10}], \quad (2.7)$$

където  $\varphi_1$  е ъгъла между градиента на  $\delta\theta$ -топографията и вятъра от параграф 1.1.4 и  $\tan \varphi_{10} = a_1 / b_1$ .

Отново, както при анализа на орографските ефекти, можем да разгледаме два типични, моделни примера на термични нееднородности, а именно “термична” преходна зона и „термичен” хребет. Термичната преходна зона се дава с формулата:

$$\delta\theta(x) = [\delta\theta' + n\delta\theta'' \exp(x/L)] / [1 + n \exp(x/L)], \quad (2.8)$$

където  $L$  е ефективната широчина на зона в перпендикулярно на зоната направление и  $n$  е положителна константа, с варирането на която може да се постигне различен вид на прехода между  $\delta\theta'$  и  $\delta\theta''$ , а термичния хребет с формулата:

$$\delta\theta(x) = \delta\theta_m \exp(-x^2 / L^2), \quad (2.10)$$

където  $\delta\theta_m$  е максималната положителна стойност на  $\delta\theta$  при термичния хребет или минималната при термична долина когато  $\delta\theta_m < 0$ , а  $L$  е характерната полуширина.

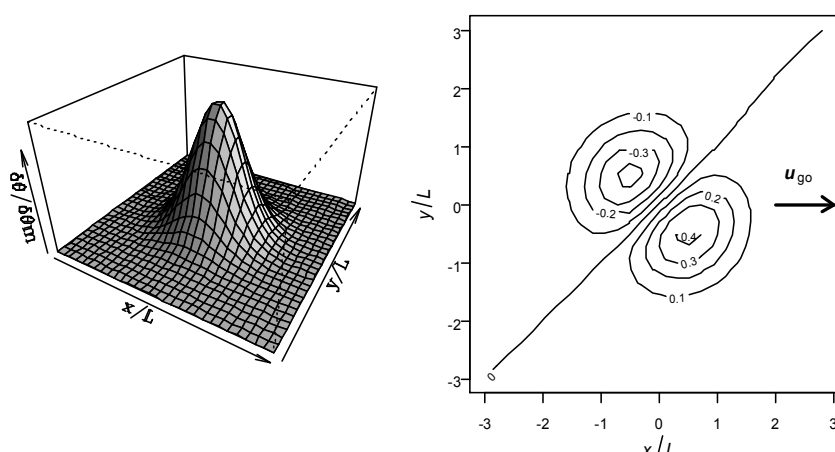
Отново имаме точни аналитични решения. Тяхното изследване показва, че и в двата случая в равнината на течението имаме разделителното направление  $-\varphi_0$  за ъгъла на обтичане при преминаването през което картината на вертикалните скорости качествено се променя. В безразмерни променливи картините са същите както на десните панели на фиг.3 и фиг.4, но с разменени знаци на скоростта.

В края на този параграф ще разгледаме още един моделен пример за локална особеност на  $\delta\theta$ -топография, а именно термичен връх или котловина с гаусова форма:

$$\delta\theta(r) = \delta\theta_m \exp(-r^2/L^2), \quad (2.12)$$

където  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  и  $\delta\theta_m$  е максималната положителна стойност на  $\delta\theta$  при термичния връх или минималната при котловина когато  $\delta\theta_m < 0$ , а  $L$  е характерната радиална полуширина. Левият панел на фиг. 5 визуализира формата на термичния връх в безразмерни координати.

Задачата има точно аналитично решение визуализирано в безразмерни координати на



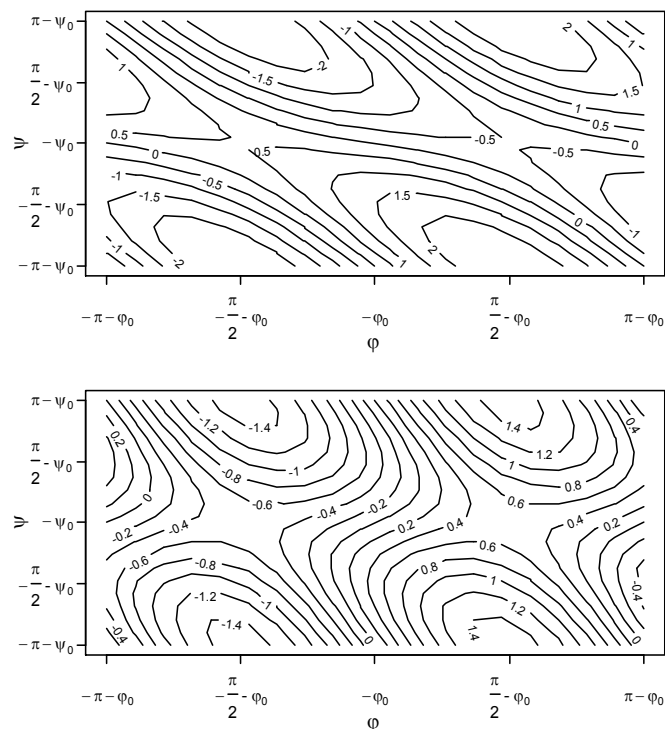
**Фиг. 5.** Релеф на  $\delta\theta$ -топографията на термичния връх (ляво) и контурна диаграма на разпределението на индуцираната безразмерна вертикална скорост като функция на безразмерните координати (дясно).

десния панел на фиг. 5 за случая на термичен връх и разделително направление  $\varphi_{10} = \pi/4$  както би трябвало да бъде според общата теория в параграф 1.1.4.. Както се вижда, в равнината има едно разделително направление  $\varphi_{10}$ , в точките на което не се индуцира вертикална скорост. При термичен връх наляво от разделителното направление генерираната безразмерната скорост  $w_{\delta\theta} / 2\sqrt{a_1^2 + b_1^2} (\delta\theta_m / L) G_0$  е отрицателна, надясно - положителна. При термична котловина знаците са разменени. Съответните максимуми или минимуми от  $\pm 1/\sqrt{2e} \approx \pm 0.43$  са при  $r = \sqrt{1/2}$  и ъгли  $\mp \pi/2 + \varphi_{10}$ .

#### 2.1.4. Съвместно влияние на орографията и $\delta\theta$ -топографията. Условия за максимален вихрогенез.

При едновременното присъствие на орография и  $\delta\theta$ -топография генерираните вертикални скорости се дават с формула (2.1).

Да изследваме екстремумите на скоростта в дадена точка като функция на ъгъла на обтичане на орографията  $\varphi$  и ъгъла  $\psi$  между градиентите на орографията и  $\delta\theta$ -топографията. Пресмятанията показват, че в случая имаме четири особени точки. Максимумът на безразмерната скорост  $w_H / |\nabla z_0| \sqrt{(1+a)^2 + b^2} G_0$  от  $1+E$  е при ъгъл на обтичане  $\pi/2 - \varphi_0$  и ъгъл между орографията и  $\delta\theta$ -топографията  $\pi - \psi_0$ . Около тази точка е и зоната на максимален антициклогенез. Зоната на максимален циклогенез е около точката  $(-\pi/2 - \varphi_0, \pi - \psi_0)$  в която имаме локален минимум от  $-1-E$ . Движенията около тази точка са низходящи и това е зоната на максимален циклогенез. Върху разделителното направление  $-\psi_0$  на взаимното разположение на орографията и  $\delta\theta$ -топографията имаме още две особени точки при ъгли на обтичане  $\pi/2$  или  $-\pi/2$  в които скоростта е съответно



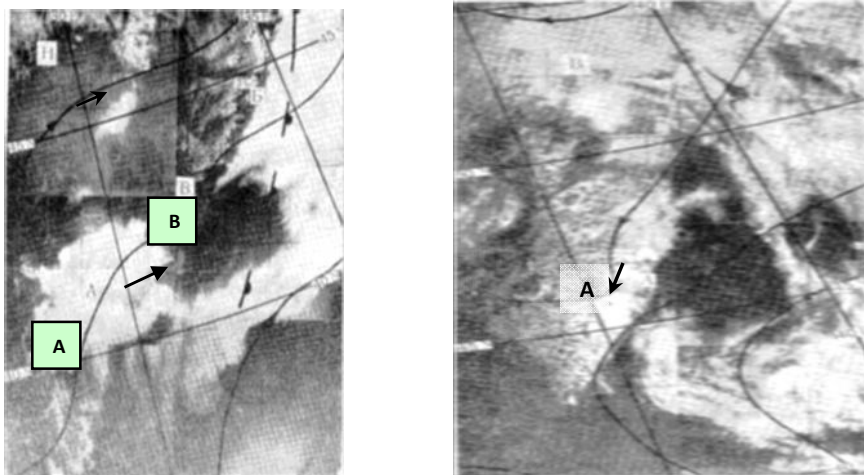
**Фиг. 6.** Контурна диаграма на безразмерната вертикална скорост като функция на ъгъла на обтичане на орографията и ъгъла между орографията и  $\delta\theta$ -топографията при  $E = 1.5$  (горе) и  $E = 0.5$  (долу).

$1-E$  или  $-1+E$ . Те обаче са седлови точки. За всяка от тях има направления в които вертикалната скорост расте, но и направления в които тя намалява.

Фигура 6 представя контурните диаграми на безразмерната вертикална скорост като функция на ъгъла на обтичане на орографията и ъгъла между орографията и  $\delta\theta$ -топографията за две конкретни стойности на параметъра  $E$ . Както трябваше да се очаква картините качествено и количествено са в пълно съответствие с изводите от аналитичното изследване.

### 2.1.5. Някои синоптични приложения

Да преминем към прилагане на изложените моделни резултати за анализ и обяснение на реални атмосферни процеси и явления. Фигура 7 представя две спътникови снимки на облачността над



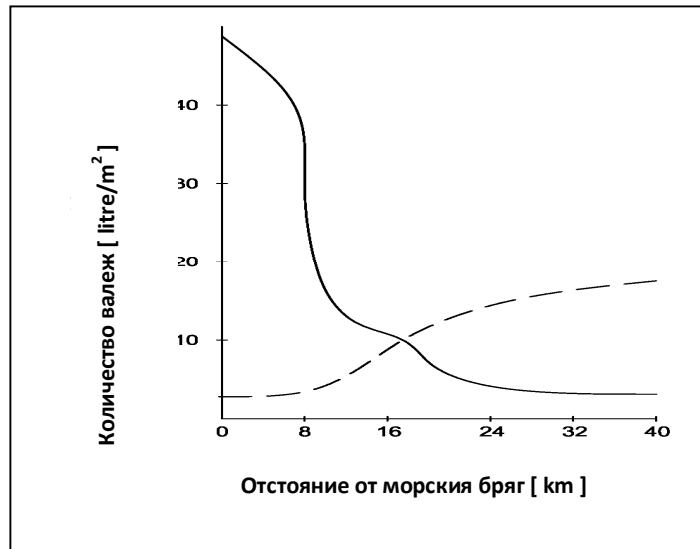
**Фиг. 7.** Разпределение на облачността над крайбрежната зона на Японско море на 09/05/1971 01 57 UTC (ляво) и 27/04/1971 03 20 UTC (дясно).

крайбрежната зона на Японско море (Велътищева, 1973). Плътните черни криви със стрелки са геострофния вятър.

Снимката на левия панел е от 09/05/1971 01 57 UTC. Символът *A* маркира района на залива Петър Велики където околната суша е с хълмист и даже планински характер. Както се вижда вятърът в преходната зона е от морето към сушата, почти перпендикулярен на бреговата линия. Ако моделираме ситуацията с разгледаната вече моделна преходна зона, то градиента на орографията е в посоката на вятъра. Доколкото обаче разделителното направление е надясно от градиента, вятърът остава наляво от аправлението и индуцираните вертикални движения са възходящи. Този теоретичен извод се потвърждава от добре изразена ниска облачност в района *A*. В същия район около точката ( $131^{\circ}\text{E}$ ,  $42^{\circ}\text{N}$ ) вятърът е в посока от сушата към морето, а градиента на орографията в обратна посока. Сега вятъра остава надясно относно разделителното направление и вертикалните движения са низходящи. Те би трябвало да размият облачността до проясняване. Точно това се наблюдава и на спътниковата снимка. В по-северния район *B* вятърът е почти по бреговата линия, като сушата остава наляво. Тогава относно разделителното направление той е надясно и индуцираните движения са низходящи. Това означава размиване на облачността което действително се наблюдава на снимката в крайбрежната ивица от около  $30\text{ km}$ .

Снимката на десния панел е от 27/04/1971 03 20 UTC. Символът *A* маркира района на Сихоте-Алика. Вятърът маркиран с черната стрелка е почти паралелен на бреговата линия на Азиатския материк като сушата остава отдясно. При тази конфигурация вятърът е наляво от разделителното направление и индуцираните вертикални движения са възходящи. Това се потвърждава от значителната облачност на спътниковата снимка в крайбрежната част на континента в района *A*.

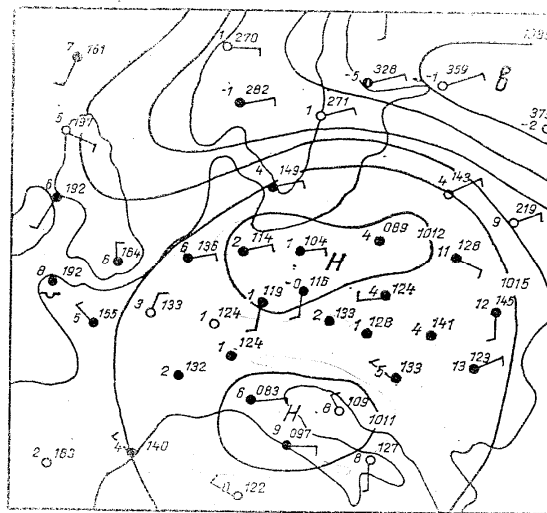
Да разгледаме и две обстановки от Черноморско крайбрежие на България (Годев, 1976). Фигура 8 представя количеството паднал валеж в района на Варна. По хоризонталата е отстоянието от морския бряг в посока запад, т.е. навътре в сушата. Плътната линия е за обстановката на 28/03/1965 08 00 GMT. В случая вятърът е северен, наляво от орографския градиент и наляво от разделителното направление и следователно вертикалните движения са възходящи. Това благоприятства появата на облачност и валежи в крайбрежна зона и както се вижда от плътната крива на фигурата значителният валеж е локализиран в тънката брегова ивица с широчина няколко километра. При обстановката на 13/01/1960 08 00 GMT вятърът е южен и това води до низходящи вертикални движения в преходната зона. От прекъснатата



**Фиг. 8.** Разпределение на валежа в посока запад от Варна, България на 28/03/1965 08 00 GMT (плътна линия) и на 13/01/1960 08 00 GMT (прекъсната линия).

крива се вижда, че сега разпределението на валежа е противоположно. Той е значителен навътре в сушата и рязко намалява около бреговата линия в съответствие с теоретичните съображения.

Ще разгледаме и важното синоптично явление сепарация на циклоните. Многочислени наблюдения показват, че когато циклон се движи паралелно на дадено препятствие, той се разделя на две части (Годев, 1976). Типичен пример за такова раздвояване е движещия се успоредно на Алпите от запад на изток, циклон даден на фиг. 9. След раздвояването двата



**Фиг. 9.** Раздвоен циклон над Алпите на 02/06/1966 00 00 GMT

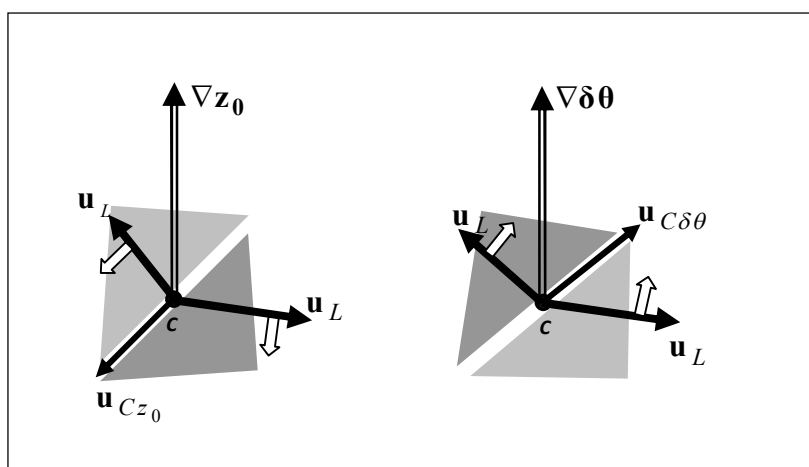
центра на този циклон се развиват самостоятелно с различна интензивност. Обяснението е както следва. Моделираме орографското препятствие с хребета анализиран по-горе като оста  $y$  е ориентирана на изток. Движещият се в направление запад-изток циклон участва в обтичане на препятствието под ъгъл оставащ наляво от разделителната посока. В този случай разпределението на генерираните вертикални скорости се дава качествено с горната половина на десния панел на фиг. 4. На север вертикалните движения са възходящи, на юг - низходящи,

циклонът се раздвоява и двата центъра продължават самостоятелно. Съгласно теоретичните резултати в параграф 1.2.1 възходящите движения водят до антициклогенез, низходящите - до циклогенез. В нашия случай това означава, че докато северният циклон се запълва, то южният се задълбочава.

## 2.2. Влияние на орографски и термични фактори в ПГС върху траекториите на синоптичните вихри

### 2.2.1. Постановка на задачата

В параграф 1.2.2 бяха приведени и коментирани формулите (1.21) и (1.22) за влиянието на орография,  $\delta\theta$ -топография и адвективно-бароклинна хоризонтална нееднородност върху скоростите на центровете на синоптичните вихри. Левият и десният панел на фиг. 10 илюстрира влиянието на орографията и  $\delta\theta$ -топографията върху движението на центровете на синоптичните



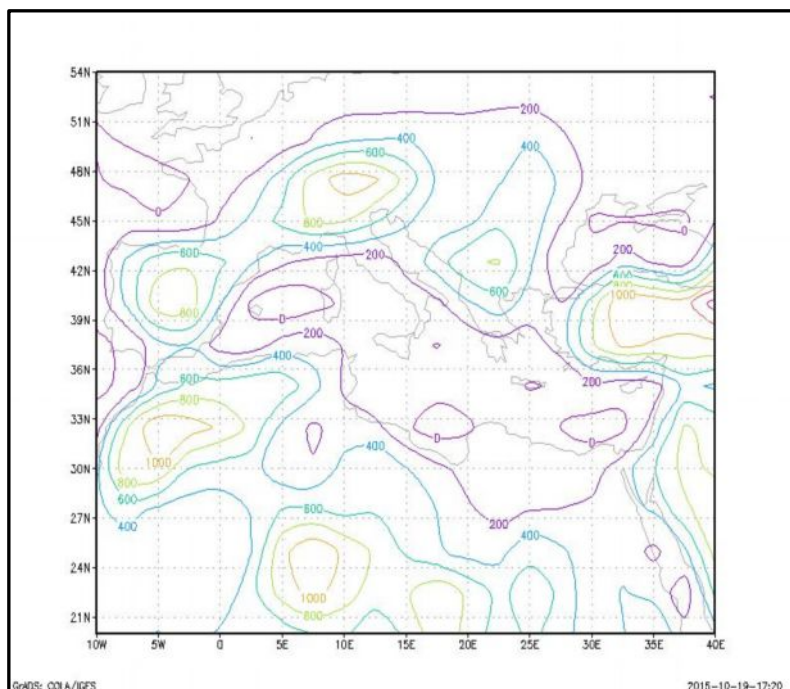
Фиг. 10. Влияние на орографията (ляво) и  $\delta\theta$ -топографията (дясно) върху движението на центровете на синоптичните вихри.

вихри. По-масивните черни стрелки са водещия поток  $\mathbf{u}_L$ , по-тънките са допълнителните скорости  $\mathbf{u}_{Cz_0}$  и  $\mathbf{u}_{C\delta\theta}$  дължащи се съответно на орографията и  $\delta\theta$ -топографията. По-дългите незапълнени стрелки са градиентите, а по широките и по-къси, дават посоката на отклонението на действителната скорост на центъра на вихъра  $C$  от водещия поток. В съответствие с изложеното в параграф 1.2.2  $\mathbf{u}_{Cz_0}$  е задължително наляво, в противоположна посока на градиента на орографията, а  $\mathbf{u}_{C\delta\theta}$  надясно и по посоката на градиента на  $\delta\theta$ -топографията. Освен това докато носещата права на  $\mathbf{u}_{Cz_0}$  е по-близо до изолиниите отколкото до градиента на орографията, то теоретичният ъгъл между носещата права на  $\mathbf{u}_{C\delta\theta}$  и градиента на  $\delta\theta$ -топография е  $\pi/4$ . От фиг. 10 лесно можем да формулираме следните правила. И в двата случая имаме по една разделителна линия, а именно линията на орографската скорост и линията на  $\mathbf{u}_{C\delta\theta}$ . При орографията ако водещият поток е надясно от разделителната линия, т.е. в по-тъмната половина, отклонението на траекторията от водещия поток е също надясно, ако потокът е наляво, т.е. в по-светлата област, то и отклонението е наляво. При  $\delta\theta$ -топографията нещата са противоположни. При водещ поток надясно от разделителната линия отклонението е наляво и обратно.

Целта на тази секция е обосноваването на формулираните по-горе прости и нагледни правила за отклоняващото действие на орографията и  $\delta\theta$ -топографията върху центровете на синоптичните вихри.

### 2.2.2. Изходни данни, предварителна обработка и пресмятания

В този параграф са използвани следните данни за релефа: (i) географска карта на Европа в мащаб 1:19500000 и (ii) карта на геопотенциалната височина на орографията от <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.surface.html>. Фигура 11



Фиг. 11. Поле на орографията в района 21° N – 54° N и 10° W – 40° E

представя полето на орографията в района 21° N – 54° N и 10° W – 40° E. Дискретизацията е  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ . Кривите са приземните изохипси. Единицата е *gpm*. Ясно очертани са Пиринейте, Алпите и планинските масиви на Балканския полуостров.

Използваните синоптични карти са на American service for meteorology forecasts (GFS) през немската метеорологична интернет страница: [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de) и от интернет страницата: <http://www1.wetter3.de>. Самите карти са както следва: (i) карти на приземното барично поле за Северното полукълбо, (ii) карти на абсолютната топография с токови линии и скорост на вятъра на нивото 500 *hPa* за Северното полукълбо, (iii) карти на абсолютната топография и температурата на нивото 850 *hPa* за Северното полукълбо. Данните за полето на приземната потенциална температура в основните синоптични срокове са от интернет страницата <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.surface.html>.

Методика на обработка и анализ на описания базов материал е както следва:

(i) По приземните и височинни синоптични карти се идентифицира съответния синоптичен вихър и се проследява движението на неговия център в основните синоптични срокове, т.е. през 6 *h*.

(ii) Върху географската и топографската карта се нанасят последователните положения на приземния център на вихъра и точките се свързват с начупена линия визуализираща неговата приземна траектория.

(iii) От височинните карти се определя водещият поток на нивото 500 *hPa* и се нанася в точките на последователните положения на центъра на вихъра върху географската и топографската карта.



(iv) Всяко от последователните наблюдения се класифицира с факторната променлива с три нива: отклонение на траекторията от водещия поток надясно, наляво и без отклонение.

(v) Изчислява се потенциалната температура на нивото  $850 \text{ hPa}$  по формулата  $\theta_{850} = T_{850} (1000/850)^{0.291}$ , където  $T_{850}$  е абсолютната температура на ниво  $850 \text{ hPa}$  и се определя полето на  $\delta\theta$ -топографията по формулата  $\delta\theta = \theta_{850} - \theta_{2m}$ , където  $\theta_{2m}$  е приземната потенциална температура.

(vi) Изолиниите на орографията и  $\delta\theta$ -топографията се нанасят върху картите в района около последователните положения на центъра на вихъра, т.е през  $6 \text{ h}$ . Мрежата е  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ .

(vii) Всяко от последователните наблюдения се класифицира по още две факторни променливи с по три нива. Те са свързани с очакваните отклонения поради влияние на орографията и  $\delta\theta$ -топографията на центровете на синоптичните вихри съгласно правилата илюстрирани с фиг. 10. Нивата са: очаквано отклонение надясно, наляво и без отклонение.

По описаната методика ние анализираме 28 синоптични вихъра - 25 циклона и 3 антициклона през периода 01/01/2004-12/12/2013. Разглежданата област е между  $30^\circ \text{ N}$  и  $54^\circ \text{ N}$  и  $10^\circ \text{ W}$  и  $40^\circ \text{ E}$ . Общият брой на наблюденията е 145. Анализираните барични образувания са от средиземноморски тип, като зоната от особен интерес е Балканския полуостров през който минават повечето от разглежданите вихри. За пълнота, следвайки Трудове на Инст.по Хидрология и метеорология (ИХМ) (1960) вихрите са класифицирани по подтипове и за всеки се дава още и броя на наблюденията върху него. В крайна сметка ние формираме един  $145 \times 6$  масив от данни. Редовете са отделните наблюдения. Стълбовете са както следва: период на наблюдението, подтип на вихъра, брой на наблюденията върху вихъра и трите, въведени по-горе, факторни променливи.

### 2.2.3. Два примера: циклон и антициклон

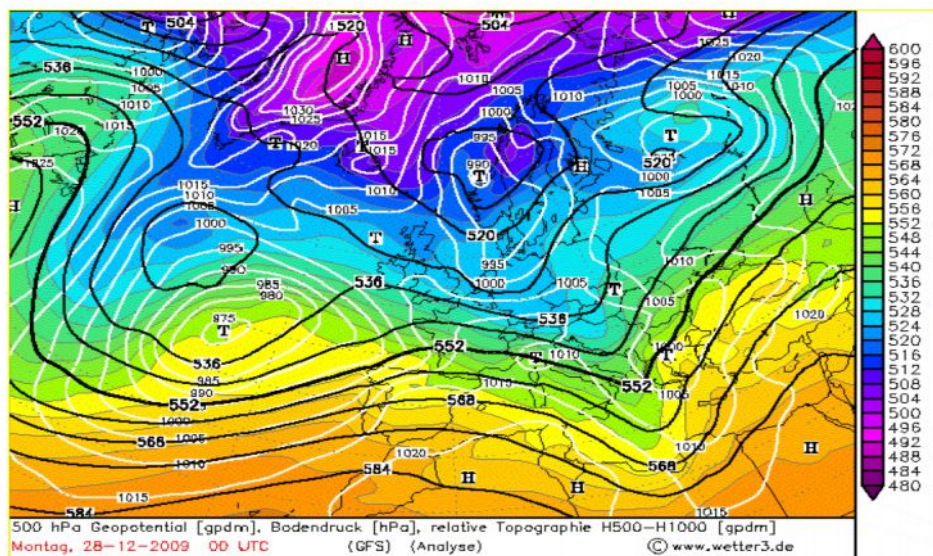
Първият илюстративен пример е средиземноморският циклон на 27-29/12/2009. Фигура 12 представя неговата приземната траектория. Самата траектория е в червено, а водещият поток на ниво  $500 \text{ hPa}$  е в синьо. Траекторията е проследена около  $2 \text{ day}$  ( $54 \text{ h}$ ). Генезисът на циклона е в адриатическото крайбрежие на Италия. Първоначално той се движи през Балканския полуостров, но между точките  $t_4$  и  $t_5$  вместо да продължи с водещия поток на североизток към Стара планина, циклонът се отклонява на юг към полуостров Халкидики, Гърция.



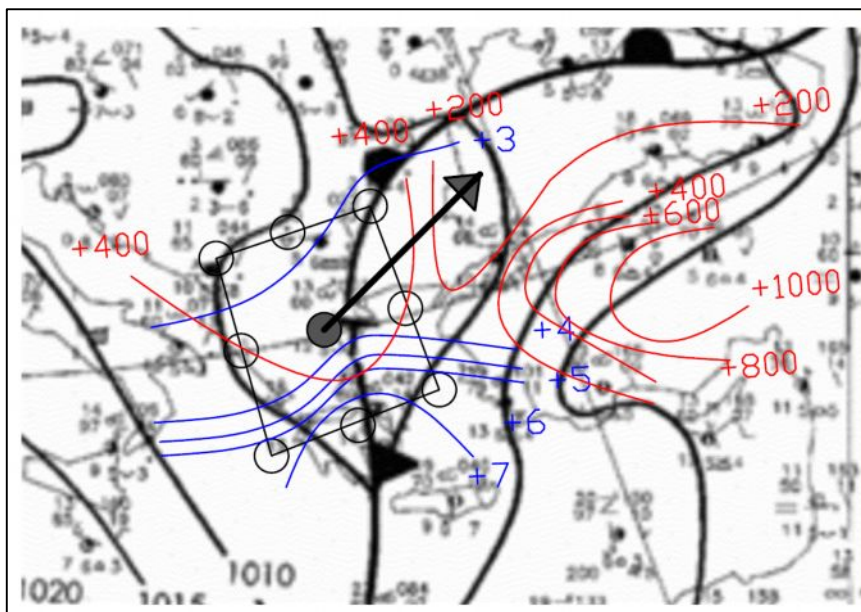
Фиг.12. Приземна траектория на средиземноморския циклон 27-29/12/2009.

По-нататък циклонът вече се движи с водещия поток на североизток към Черно море, край западния бряг на Черно море и на североизток към Русия, където накрая се запълва. Ние фокусираме нашето внимание върху срока 28/12/2009 00 UTC. На фиг. 12 това е точката  $t_5$ . В тази точка циклонът се премества с водещия поток.

Синоптическа обстановка на 28/12/2009 00 UTC е представена на фиг. 13. Тази фигура представя абсолютната топография на нивото  $500\text{ hPa}$ , относителната топография за нивата  $1000\text{ hPa}$  и  $500\text{ hPa}$  и приземното налягане на 28/12/2009 00 UTC.



**Фиг. 13.** Карта на абсолютната топография на нивото  $500\text{ hPa}$  относителната топография за нивата  $1000\text{ hPa}$  и  $500\text{ hPa}$  и приземното налягане на 28/12/2009 00 UTC.

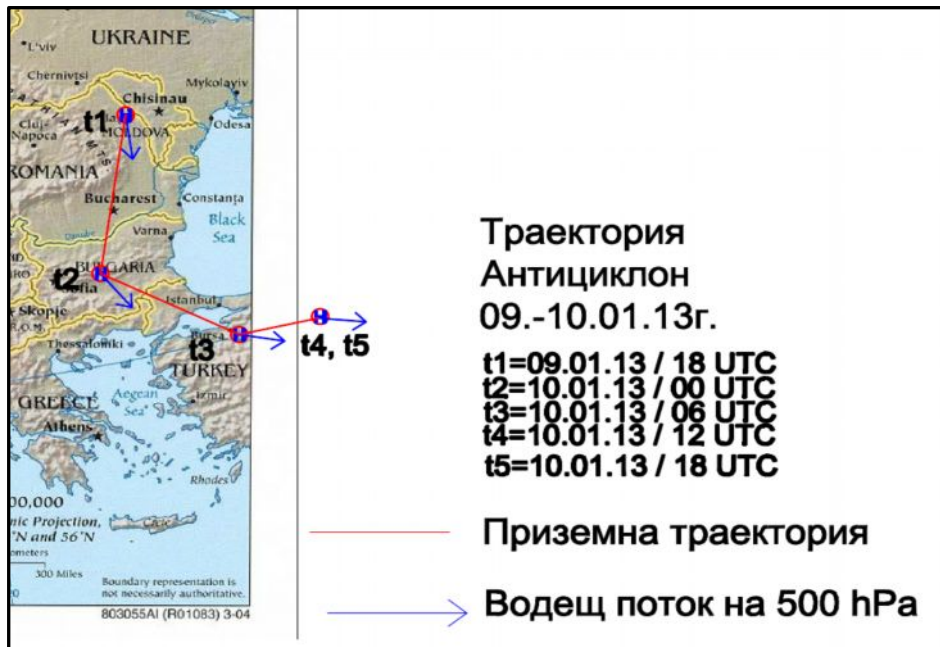


**Фиг. 14.** Полета на орографията и  $\delta\theta$ -топографията върху картата на приземното барично поле в района на циклона на 28/12/2009 00 UTC.

1000 hPa и 500 hPa и приземното налягане. В черно е абсолютната топография, белите криви са приземното налягане. В полето на относителната топография зоните с адвекция на топлина са от жълто-оранжево до кафяво, а на студ от зелено до виолетово. Както се вижда от полето на приземното налягане и полето на абсолютната топографията на ниво 500 hPa имаме добре изразен циклон над Балканския полуостров с център в точката (22.5° E, 40° N). Водещият поток на това ниво е на североизток. Вижда се също така и разположението на околните фронтове.

Фигура 14 представя полетата на орографията и  $\delta\theta$ -топографията върху картата за приземното налягане на 28/12/2009 00 UTC. Орографията е в червено,  $\delta\theta$ -топографията - в синьо. Единиците са *gpm* и *K*. Запълненият кръг е центъра на вихъра и плътната черна стрелка маркира посоката на водещия поток. По-тънките черни линии маркират центрирания във вихъра 5° × 5° квадрант, по данните в който се пресмятат градиентите на орографията и  $\delta\theta$ -топографията. Тук този квадрант е с върхове в точките (20° E, 37.5° N), (25° E, 37.5° N), (25° E, 42.5° N) и (20° E, 42.5° N). В настоящето изследване ние фиксираме горни прагове от 100 *gpm*/100 *km* за градиента на орографията и 1 *K*/250 *km* за градиента на  $\delta\theta$ -топографията под които влиянието на тези два фактора върху траекторията на синоптичния вихър може да се пренебрегне. Завръщането към фиг. 14 показва, че в случая градиентите на орографията и  $\delta\theta$ -топографията са под приетите прагове и ефекта от тях е пренебрежим. В крайна сметка анализираният наблюдение се кодира като: отклонение от водещия поток - без отклонение, очаквано отклонение вследствие на орографията - без отклонение и отклонение от  $\delta\theta$ -топографията - без отклонение.

Като втори илюстративен пример ще разгледаме антициклона през 09-11/01/2013. Фигура 15 представя неговата приземната траектория. Траекторията е в червено, а водещият поток е в синьо. Траекторията е проследена около 1.5 *day* (30 *h*).

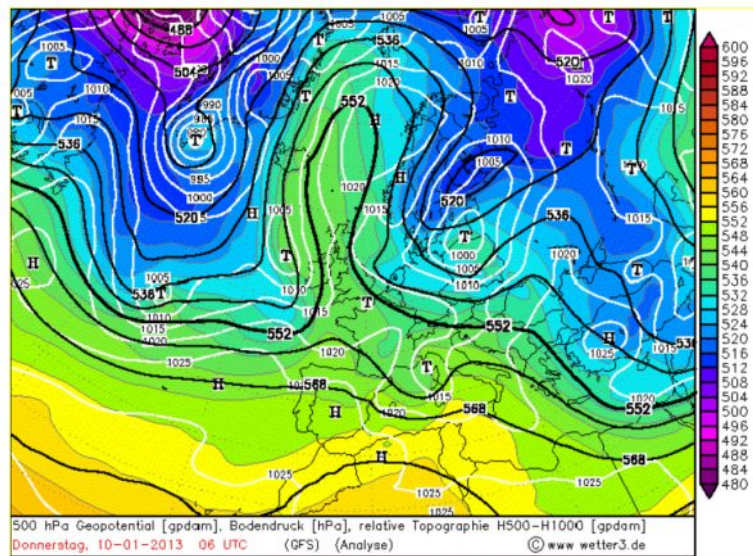


**Фиг.15.** Приземна траектория на антициклона 09-10/01/2013.

В началото антициклонът е с два центъра над Румъния и България, минава през Балканския полуостров на юг, след това на югоизток, пресичайки съответните планинските масиви. По-нататък антициклонът отново през планинските масиви се движи през Босфора към вътрешната част на Турция, към Мала Азия. Към края на периода той вече е почти стационарен. През цялото време движението е със сравнително малки отклонения от водещия

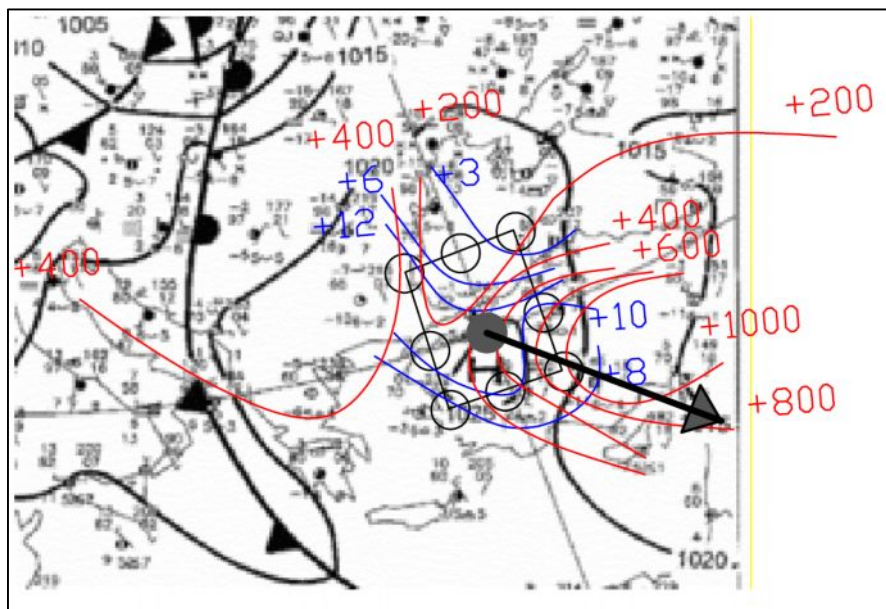


поток. Ние ще фокусираме нашето внимание върху срока 10/01/2013 06 UTC. На фиг. 15 това е точката  $t_3$ . В тази точка антициклонът леко се отклонява наляво от водещия поток.



**Фиг. 16.** Карта на абсолютната топография на нивото  $500\text{ hPa}$  относителната топография за нивата  $1000\text{ hPa}$  и  $500\text{ hPa}$  и приземното налягане на 10/01/2013 06 UTC.

Синоптическа обстановка на 10/01/2013 00 UTC е илюстрирана на фиг. 16 която представя абсолютната топография на нивото  $500\text{ hPa}$ , относителната топография за нивата  $1000\text{ hPa}$  и  $500\text{ hPa}$  и приземното налягане. Означенията са същите както на фиг.13. Както се вижда над



**Фиг. 17.** Полета на орографията и  $\delta\theta$ -топографията върху картата на приземното барично поле и района на антициклона на 10/01/2013 06 UTC.

западна Турция имаме добре изразен антициклон с център в (30° E, 40° N) . Водещият поток е на югоизток.

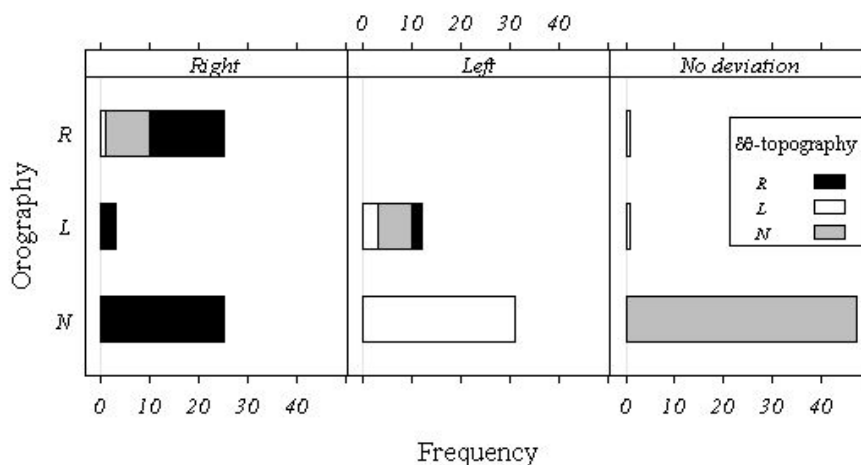
Фигура 17 представя полетата на орографията и  $\delta\theta$ -топографията върху картата за приземното налягане на 28/12/2009 00 UTC. Означенията са същите както на фиг.14. В случая квадрантът е с върхове в точките (27.5° E, 37.5° N), (32.5° E, 37.5° N), (32.5° E, 42.5° N) и (27.5° E, 42.5° N) .

Оценките за големите на градиентите на орографията и  $\delta\theta$ -топографията са съответно 300 *gpdm/100km* и 2 *K/250km* . Двата градиента са над праговите стойности и следователно и двата фактора действат едновременно. Като направление градиента на орографията е на изток-югоизток и съгласно левият панел на фиг.10 орографията отклонява приземния център на антициклона наляво от водещия поток. Градиента на  $\delta\theta$ -топографията е на север-северозапад и съгласно десния панел на фиг.10 центъра на вихъра се отклонява наляво. Анализираното наблюдение се кодира като: отклонение на вихъра от водещия поток - наляво, очаквано отклонение вследствие на орографията - наляво и отклонение от  $\delta\theta$ -топографията - наляво.

#### 2.2.4. Статистически анализ

В параграф 2.2.2 ние формирахме една 145 × 6 матрица от данни. Редовете на матрицата дават информацията за всяко от 145-те наблюдения върху съответните вихри. Стълбовете са: период на наблюдението, подтип на вихъра, брой на наблюденията върху него и три факторни променливи. Факторни променливи са наблюдаваното отклонение на траекторията на вихъра от посоката на водещия поток и очаквани отклонения на центровете на вихрите поради влиянието съответно на орографията и  $\delta\theta$ -топографията, оценени по правилата илюстрирани на фиг. 10. Категоризацията е на три нива: отклонение от водещия поток надясно, наляво и без отклонение.

Ние класифицираме всичките 145 наблюдения по трите факторни променливи. В резултат получаваме една 3 × 3 × 3 честотна таблица която визуализираме чрез категоризираната стълбична диаграма на фиг. 19. Трите панела на диаграмата съответстват на трите нива *Right*, *Left* и *No deviation* на фактора наблюдавано отклонение на вихъра. По хоризонталните оси е броя на вихрите, по вертикалните оси са трите категории на фактора отклонение вследствие на орографията. Нивата са: *R* - отклонение от водещия поток надясно, *L* - наляво и *N* - без отклонение. Натрупванията в стълбовете на диаграмата в черно, бяло и сиво визуализират нивата на фактора отклонение вследствие на  $\delta\theta$ -топографията, а именно: *R* - отклонение от водещия поток надясно, *L* - наляво и *N* - без отклонение.



Фиг. 19. Класификация на наблюденията по нивата на факторите отклонение на вихъра, отклонения вследствие на орографията или  $\delta\theta$ -топографията.

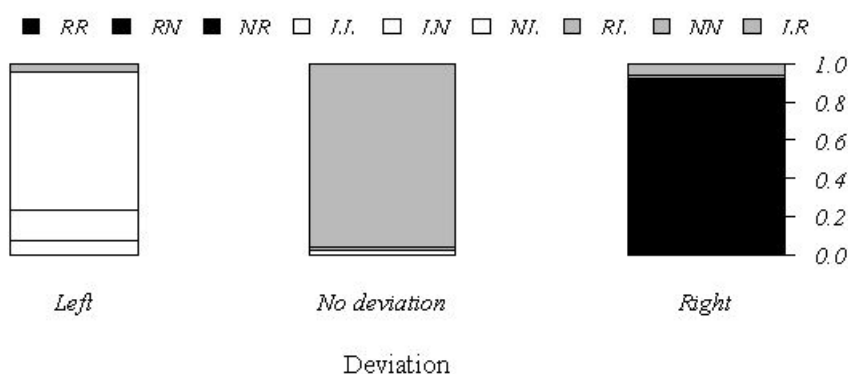
Прегледът на диаграмата води до следните заключения. При реално отклонение на вихъра надясно по отношение на влиянието на орографията всичките случаи практически се разпределят почти поравно между очаквано отклонение надясно и без отклонение. При липсата на орографско въздействие отклонението от  $\delta\theta$ -топографията е изцяло надясно. Това са главно ситуациите в които вихрите са над морето. При орографско отклонение надясно в повече от половината случаи  $\delta\theta$ -топографията също отклонява надясно, а в останалата половина тя не оказва влияние с изключение на единствения случай когато действа наляво. Що се отнася до трите случая на орографско отклонение наляво, то отклонението от  $\delta\theta$ -топографията е изцяло надясно.

При реално отклонение на вихъра наляво в извадката няма нито един случай на орографско отклонение надясно, а при липсата на орографско въздействие  $\delta\theta$ -топографията винаги отклонява наляво. Що се отнася до орографското отклонение наляво, то  $\delta\theta$ -топографията или не въздейства или отклонява наляво и само в два от случаите - надясно.

При движение на вихъра заедно с водещия поток нещата са най-прости. С изключение само на два случая влияние както на орографията, така и на  $\delta\theta$ -топографията липсва. Що се отнася до изключенията, то в единия от случаите орографията отклонява надясно, а  $\delta\theta$ -топографията - наляво, а в другия и двете отклонения са в една посока - наляво.

Да дадем още едно, в известен смисъл алтернативно, представяне на нашите данни. За целта ние обединяваме очакваните отклонения от орографията и  $\delta\theta$ -топографията в една нова факторна променлива - съвместно влияние която кодираме с две букви - комбинациите на първоначалните нива; *R* - отклонение от водещия поток надясно, *L* - наляво и *N* - без отклонение. Първата позиция е за отклонението вследствие на орографията, втората - вследствие на  $\delta\theta$ -топографията. Например, *LL* означава, че както орографията, така и  $\delta\theta$ -топографията отклоняват наляво.

Ние класифицираме 145-те наблюдения по деветте нивата на новата факторна променлива и нивата на фактора действително отклонение на вихъра от водещия поток с трите нива *Right*, *Left* и *No deviation*. Резултатите са представени графично със стълбичната диаграма на фиг. 20. По хоризонталната ос на фигурата са трите категории на фактора реално отклонение на вихъра. По вертикалната ос са числата от 0 до 1. Както виждаме трите стълба са с еднаква единична височина. Всеки от тях е разделен на сектори, чиято височина е равна на относителния брой на наблюденията от съответната категория на фактора съвместно влияние на орографията и  $\delta\theta$ -топографията, нормирани с броя наблюдения от съответната категория на фактора реално отклонение на вихъра. Следователно височината на един сегмент е оценка на



**Фиг. 20.** Връзка на наблюдаваните отклонения на вихъра с нивата на фактора съвместно влияние на орографията и  $\delta\theta$ -топографията.

условната относителна честота за реализация на дадена категория на фактора съвместно влияние при дадено действително отклонение на вихъра. Широчината на даден стълб е пропорционална на относителния брой случаи в съответната категория на фактора реално отклонение, като нормировката е с общия брой наблюдения - 145. Следователно широчината на един стълб визуализира относителната честота за реализация на дадена категория на фактора

реално отклонение. И накрая, ние допълнително прегрупираме цветово нивата на фактора съвместно влияние. Категориите *RR*, *RN* и *NR* са в черно *LL*, *LN* и *NL* - в бяло и *RL*, *NN* и *LR* са в сиво.

Изводите от визуалния анализ на фиг.20 са както следва. От всичките 145 случая в 94% от тях орографията и  $\delta\theta$ -топографията действат в посоката на наблюдаваното отклонение на вихъра или ако единият от тези фактори не оказва влияние, то другият е в посока на действителното отклонение. От статистическа гледна точка обаче разглежданията са все пак на дескриптивно ниво. Да преминем към по-строг формално-статистически анализ.

Ако орографията и  $\delta\theta$ -топографията не оказваха влияние върху траекторията на вихъра, то това би трябвало да означава, че променливата действително отклонение от една страна и двумерната променлива отклонения вследствие на орографията и  $\delta\theta$ -топографията от друга, са статистически независими случайни величини.

И така, имаме хипотезата за независимост на действително отклонение от отклоненията вследствие на орографията и  $\delta\theta$ -топографията. Да тестваме глобално тази хипотеза като нулева. За целта ние използваме техниката на т.нар. пермутационни тестове за независимост, следвайки Hothorn *et al.* (2006) и Hothorn *et al.* (2008). Резултатите от процедурата са както следва: Стойността на  $\chi^2$  статистиката е 273.1774 при 16 степените на свобода и *p*-стойност е  $2.2 \times 10^{-16}$ . При тази *p*-стойност имаме повече от достатъчно основания да отхвърлим глобалната нулева хипотеза за независимост. Налице е значително отклонение от независимостта на действително отклонение на вихъра и отклоненията вследствие на комбинираните орографията и  $\delta\theta$ -топографията.

В светлината на проведените вече дескриптивни разглеждания може да се очаква, че значителните отклонения от независимост са обуславени от сравнително малък брой клетки в честотната таблица класифицираща 145 наблюдения по трите нива на фактора действително отклонение на вихъра и деветте нива на фактора отклонение вследствие на комбинираните

**Таблица 2.** *Max-T*-тест за независимост: стандартизирана статистика **T**.

	Deviation		
	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>No deviation</i>
<i>RR</i>	5.3705	-2.6466	-2.9122
<i>RN</i>	4.0671	-2.0043	-2.2054
<i>NR</i>	7.2163	-3.5563	-3.9131
<i>LL</i>	-1.5341	2.0066	-0.3757
<i>LN</i>	-2.0513	4.1625	-1.9309
<i>NL</i>	-4.7495	9.6377	-4.4707
<i>RL</i>	0.3963	-0.9214	0.4863
<i>NN</i>	-6.3076	-5.3957	11.6320
<i>LR</i>	1.1042	0.5136	-1.6202

**Таблица 3.** *Max-T* тест за независимост: *p*-стойности

	Deviation		
	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>No deviation</i>
<i>RR</i>	<b><math>2.5 \times 10^{-6}</math></b>	0.18	0.08
<i>RN</i>	<b>0.0013</b>	0.63	0.47
<i>NR</i>	<b><math>9.5 \times 10^{-12}</math></b>	<b>0.0098</b>	<b>0.0024</b>
<i>LL</i>	0.93	0.63	0.99
<i>LN</i>	0.59	<b><math>8.326 \times 10^{-4}</math></b>	0.69
<i>NL</i>	<b><math>5.1 \times 10^{-5}</math></b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0002</b>
<i>RL</i>	1.00	0.99	0.99
<i>NN</i>	<b><math>5.9 \times 10^{-9}</math></b>	<b><math>1.5294 \times 10^{-6}</math></b>	<b>0.0000</b>
<i>LR</i>	0.99	0.99	0.89

орографията и  $\delta\theta$ -топографията. Следвайки рекомендациите в Hothorn *et al.* (2006) ние използваме т. нар. многомерни линеаризирани статистики **T** за да анализираме вътрешната структура на връзките между нивата на двата фактора. Резултатите от съответните пресмятания са както следва.

Както трябваше да се очаква нулевата хипотеза за глобална независимост отново се отхвърля убедително при стойност на статистиката  $maxT$  от 11.632 и съответната  $p$ -стойност от  $2.2 \times 10^{-16}$ . Таблица 2 представя стойностите на многомерната стандартизирана статистика **T**. Числата в нея би трябвало да се интерпретират подобно на остатъците на Pearson спрямо хипотезата за независимост в една честотна таблица. Прегледът на Таблица 2 води до следните изводи. Отклоненията от независимост са обусловени от големия, в сравнение с очакваното, брой наблюдения от тип  $RR$ ,  $RN$  в категорията *Righ*. Излишък имаме също така на  $LN$  в *Left*. Категориите  $NR$ ,  $NL$  и  $NN$  имат сходна структура относно нивата на фактора реално отклонение. За  $NR$  имаме значително превишаване на случаите от категорията *Righ* и недостиг в категориите *Left* и *No deviation*. При  $NL$  превишаването е в *Left*, а недостигът в *Righ* и *No deviation*, а при  $NN$  излишъкът е в *No deviation* и недостигът в *Righ* и *Left*. Що се отнася до категориите  $LL$ ,  $RL$  и  $LR$ , то при тях отклоненията от независимост са незначителни.

Съвместното разпределение на елементите на табл. 2 може да се апроксимира с едно 27-мерно гранично нормално разпределение. Това позволява да се пресметнат съответните  $p$ -стойности. За целта се използва т.нар.едностъпкова  $max-T$  процедура (Hothorn *et al.*, 2006). Таблица 3 дава тези  $p$ -стойности. Клетките за които се отхвърля нулевата хипотеза за независимост са маркирани с по-черен шрифт. Интерпретацията е аналогична на тази на елементите на стандартизираната честотната таблица. А именно, при реално отклонение на вихъра надясно хипотезата за независимост се отхвърля поради превишаването на случаите  $RR$ ,  $RN$  и  $NR$  и по-малкото случай  $NL$  и  $NN$ . При отклонение на вихъра наляво  $NR$  и  $NN$  не достигат, а  $LN$  и  $NL$  са в излишък. И накрая, при липсата на отклонения от водещия поток категорията  $NN$  е представена силно над очакваното за независимост, а  $NR$  и  $NL$  много по-слабо.

Можем да резюмираме. Както дескриптивните разглеждания, така и статистическите тестове убедително подкрепят следния извод. Отклонението на един вихър надясно, наляво или без отклонение от водещия поток се определя от влиянието на орографията и  $\delta\theta$ -топографията в същата посока или когато единият от двата фактора действа в същата посока, а другият е неутрален.

## Глава 3

### Климатични приложения

Орографско термичните хоризонтални нееднородности в ПГС са фактори, ефектите от които натрупвайки се в рамките на даден сезон, оказват влияние върху климатичните процеси. Тази глава изследва влиянието от хоризонталните нееднородности на орографията и  $\delta\theta$ -топографията върху процесите от климатичен мащаб.

#### 3.1. Корелативни връзки на орографската и $\delta\theta$ -топографията с някои климатични процеси

##### 3.1.1. Постановка на задачата

В параграф 1.1.4 бе приведена и коментирана формулата (1.17) за вертикалната скорост на горната граница на ПГС при наличието на орография и  $\delta\theta$ -топография. Третото събираемо в тази формула зависи само от големината на геострофната скорост и лапласианите на орографията и  $\delta\theta$ -топографията. То не зависи от посоката на геострофния вятър и не се променя при завъртането на координатната система. Поради това ефектите обусловени от него са с климатични времеви и пространствени мащаби и то е съществено за климатичните разглеждания. След пренебрегването на останалите събираеми от (1.17) получаваме:



$$w_H = -G_0^2 (d \nabla^2 z_0 + d_1 \nabla^2 \delta\theta), \quad (3.1)$$

където както досега  $w_H$  е вертикалната скорост на горната граница на ПГС,  $G_0$  е модула на геострофния вятър при Земята,  $z_0$  е топографията, и  $\delta\theta$  е разликата между потенциалните температури на горната граница на ПГС и при Земята. Освен това константа  $d$  е положителна, а  $d_1$  е отрицателна. Първото събираемо отгласяно отговаря за ефектите свързани с орографията, а второто - за ефектите свързани с  $\delta\theta$ -топографията.

Като имаме предвид формула (1.19), геопотенциалната тенденция може да се представи като суперпозиция от тенденциите обусловени поотделно от орографията и  $\delta\theta$ -топографията:

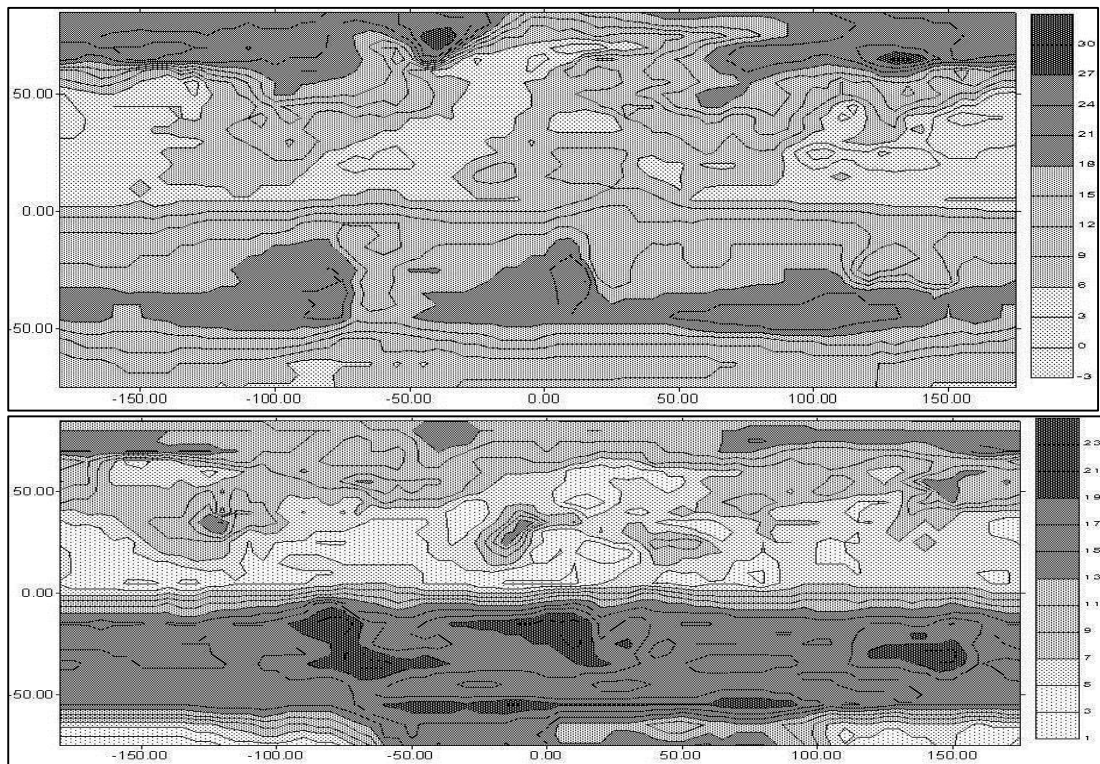
$$(\partial\Phi/\partial t)_{or} = -c_0 G_0^2 d \nabla^2 z_0, \quad (\partial\Phi/\partial t)_{\delta\theta} = -c_0 G_0^2 d_1 \nabla^2 \delta\theta, \quad (3.2)$$

където  $c_0 \approx 0.3$ .

Целта на тази секция е да се анализират пространствените корелации между сезонните климатични лапласиани на  $\delta\theta$ -топографията и орографията от една страна и климатичните зони на активен вихрогенез и атмосферните центрове на действие от друга. Цел е също и пространствена корелация между осите на основните климатични  $\delta\theta$ -долини и средните климатични фронтове в атмосферата.

### 3.1.2. Изходни данни, предварителна обработка и пресмятания

Изходната информация за премятането на  $\delta\theta$ -топографията и свързаните с нея величини са от Аероклиматическият атлас северного полушария (1963, 1968). От този източник ние използваме експерименталните климатични данни за температурата при земята и на ниво  $850\text{hPa}$ .

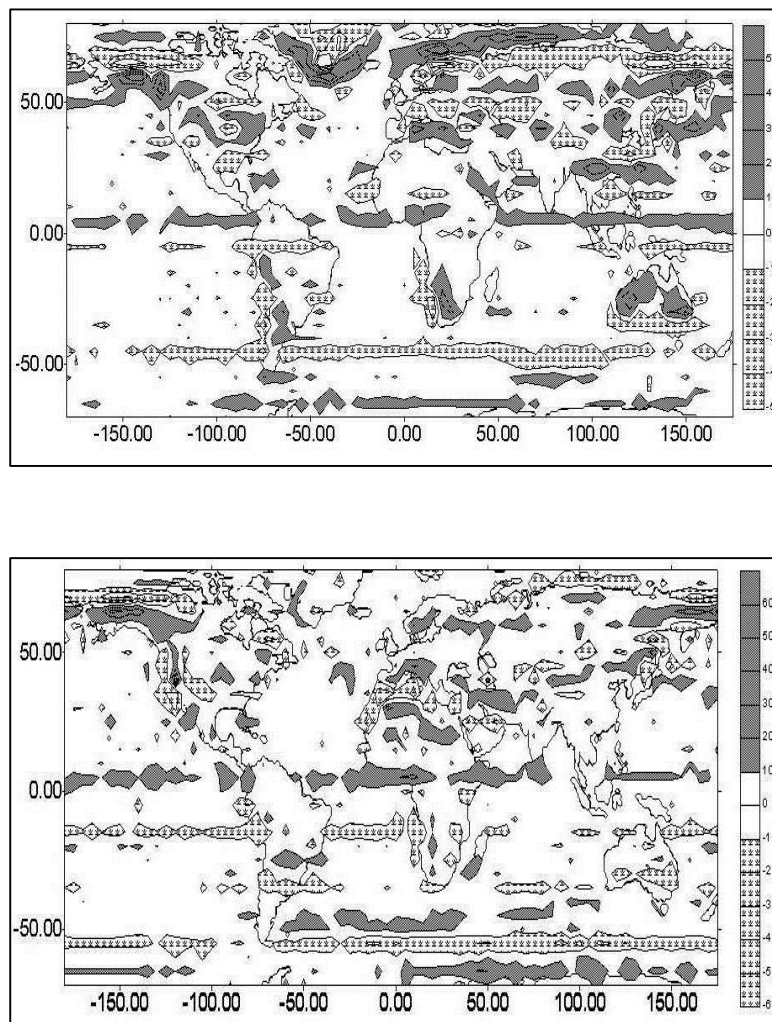


Фиг.21. Климатично поле на  $\delta\theta$ -топографията през януари (горе) и през юли (долу).

Потенциалната температура на нивото  $850 \text{ hPa}$  се пресмята по формулата  $\theta_{850} = T_{850} (1000/850)^{0.291}$ , където  $T_{850}$  е абсолютната температура на ниво  $850 \text{ hPa}$ , а самото поле на  $\delta\theta$ -топографията се изчислява като разлика между  $\theta_{850}$  и приземната потенциална температура. Фигура 21 представя климатичните полета на  $\delta\theta$ -топографията за летния и зимния сезон. Горне е полето през януари, долу през юли, мрежата е  $5^\circ \times 5^\circ$ , единицата е  $K$ .

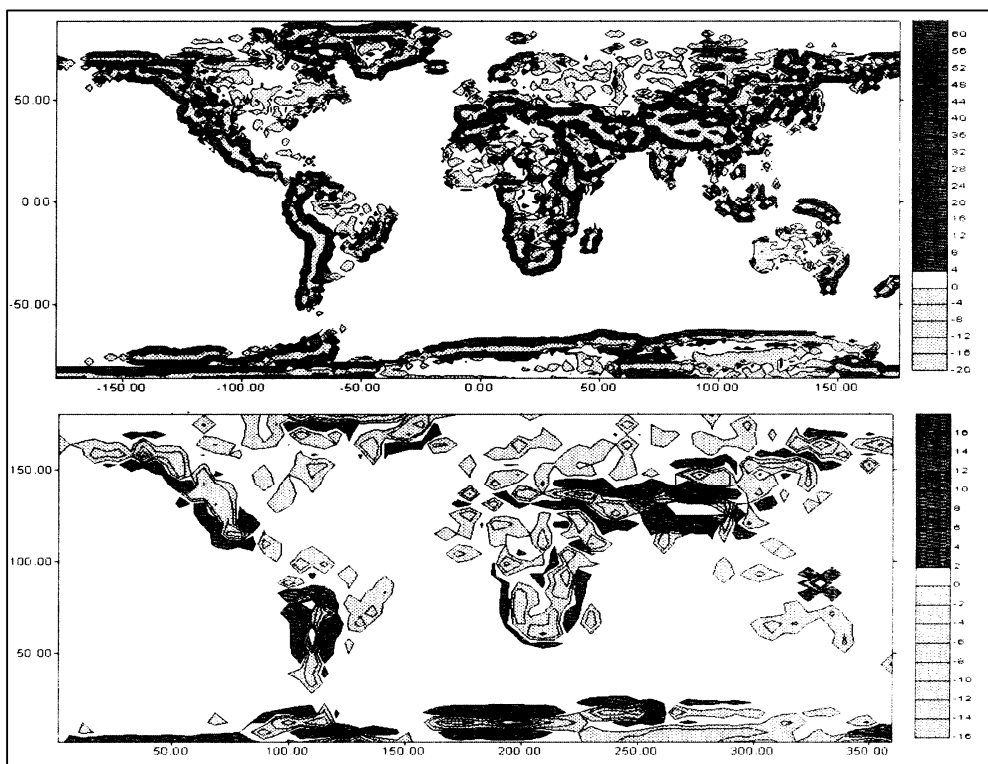
Изходната информация за пресмятането на лапласиана на  $\delta\theta$ -топографията са отново климатични данни за температурата при земята и на ниво  $850 \text{ hPa}$  взети от Аероклиматическият атлас северного полушария (1963, 1968). Пресмятането на  $\delta\theta$ -топографията е описано по-горе. Полетата на лапласианите, пресметнати от Петрова (2002), са представени на фиг. 22. Мрежата е  $5^\circ \times 5^\circ$ , единиците са безразмерни.

Изходните данни за орографията са от картата за нейната геопотенциална височина в [http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep\\_reanalysis\\_surface.html](http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep_reanalysis_surface.html). От тези данни ние пресмятаме лапласиана на орографията чрез традиционната четириточкова схема. Фигура 23 представя полето на орографския лапласиан. На горния панел мрежата е  $2^\circ \times 2^\circ$ , на долния



**Фиг. 22.** Климатично поле на лапласиана на  $\delta\theta$ -топографията през януари (горе) и юли (долу)

-  $5^\circ \times 5^\circ$ , единиците са безразмерни. Полетата са пресметнати при два интервала на дискретизацията за да се демонстрира влиянието на този интервал.



Фиг. 23. Поле на орографския лапласян при дискретизация  $2^\circ \times 2^\circ$  (горе) и  $5^\circ \times 5^\circ$  (долу).

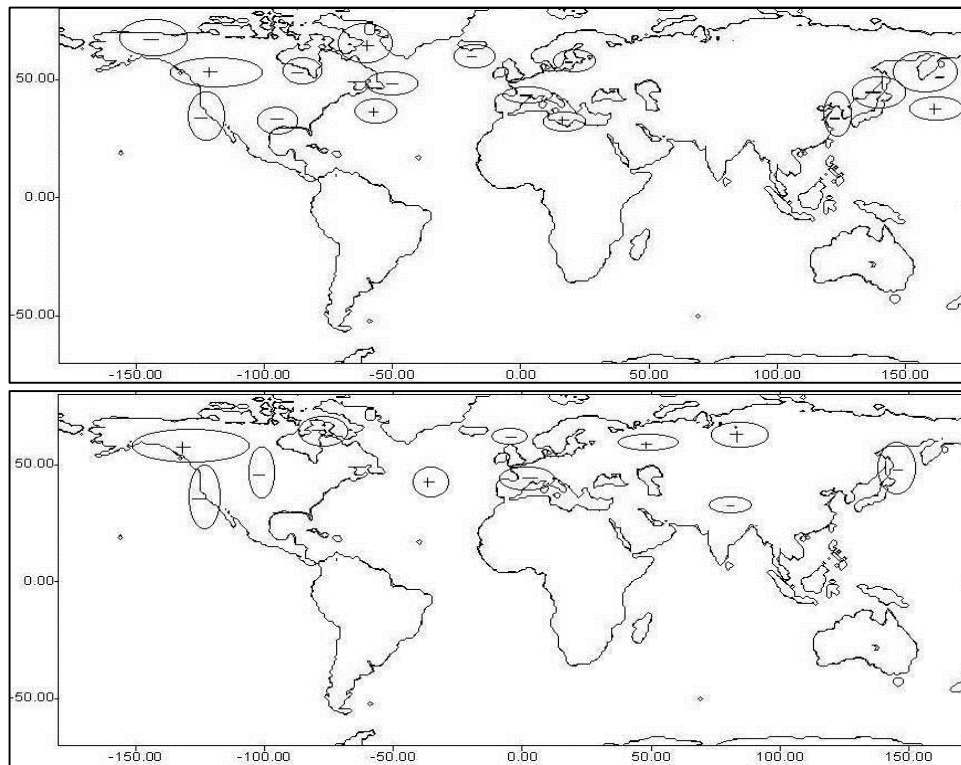
### 3.1.3. Лапласиани на $\delta\theta$ -топографията и орографията и климатичните зони на активен вихрогенез

Доколкото положителната геопотенциална тенденция означава благоприятни условия за антициклогенез, а отрицателната тенденция за циклогенез, то съгласно (2.2) условията за антициклогенез би трябвало да са налице в областите с отрицателен лапласиан на орографията и положителен лапласиан на  $\delta\theta$ -топографията. Обратно, при положителен лапласиан на орографията и отрицателен лапласиан на  $\delta\theta$ -топографията са налице условия за циклогенез. Когато лапласианите са с различен знак условията за циклогенез или антициклогенез се определят от относителната големина на двата ефекта във формула (3.2). Приведените съображения дават основания да се очаква пространствена корелация между климатичните сезонни лапласиани на  $\delta\theta$ -топографията и орографията и климатичните зони на активен вихрогенез.

На фиг. 24 са дадени зоните с висока процентна повторяемост на процесите на вихрогенез и съответните знаци на  $\delta\theta$ -лапласиана в тях. Зоните са оградени с плътни черни линии, знаците + или - означават положителен или отрицателен  $\delta\theta$ -лапласиан. Стойностите на  $\delta\theta$ -лапласиана са от фиг. 22.

Прегледът на фиг. 24 води до следните изводи. И през двата сезона източно и западно от планинския масив на Кордилери в Северна Америка виждаме зони на повишен циклогенез от 0.6 единици. На същите ширини откриваме обаче и отрицателни стойности на  $\delta\theta$ -лапласиана под  $-10$ . Подобни корелации намираме и в други области на интензивен циклогенез като: Мексиканския залив където  $\delta\theta$ -лапласиана през зимата е под  $-25$ , западните части на Средиземно море където в Генуезкия залив процентната повтаряемост на циклогенеза през лятото е над 0.6 единици, а  $\delta\theta$ -лапласиана е под  $-10$  в районите между  $30^\circ \text{N}$  и  $40^\circ \text{N}$  през зимата и над  $45^\circ \text{N}$  през лятото източно от Азия и Северна Америка. Във всичките тези райони както може да се види от долния панел на фиг. 23 орографският лапласиан е положителен защото те представляват вдлъбнати по отношение на средния релеф дъги.

Сравняването на двата панела на фиг. 24 води до извода, че разглежданите зони на циклогенез претърпяват сезонно отместване. Докато през лятото те са локализирани между  $30^{\circ}\text{N}$  и  $50^{\circ}\text{N}$ , то през зимата те се обособяват около  $30^{\circ}\text{N}$  и  $60^{\circ}\text{N}$  - залив Аляска.



**Фиг. 24.** Зони на максимален вихрогенез и областите с екстремални стойности на  $\delta\theta$ -лапласиана със съответните знаци през януари (горе) и през юли (долу).

В тези райони орографският лапласиан е положителен поради вдлъбнатата форма на релефа от двете страни на препятствието. Фигура 24 демонстрира също така и съответствие между области с повишен антициклогенез и с положителен  $\delta\theta$ -лапласиан, подсилвайки извода за влиянието на термичните средноклиматично изразени нееднородности върху сезонното разпределение на атмосферната активност.

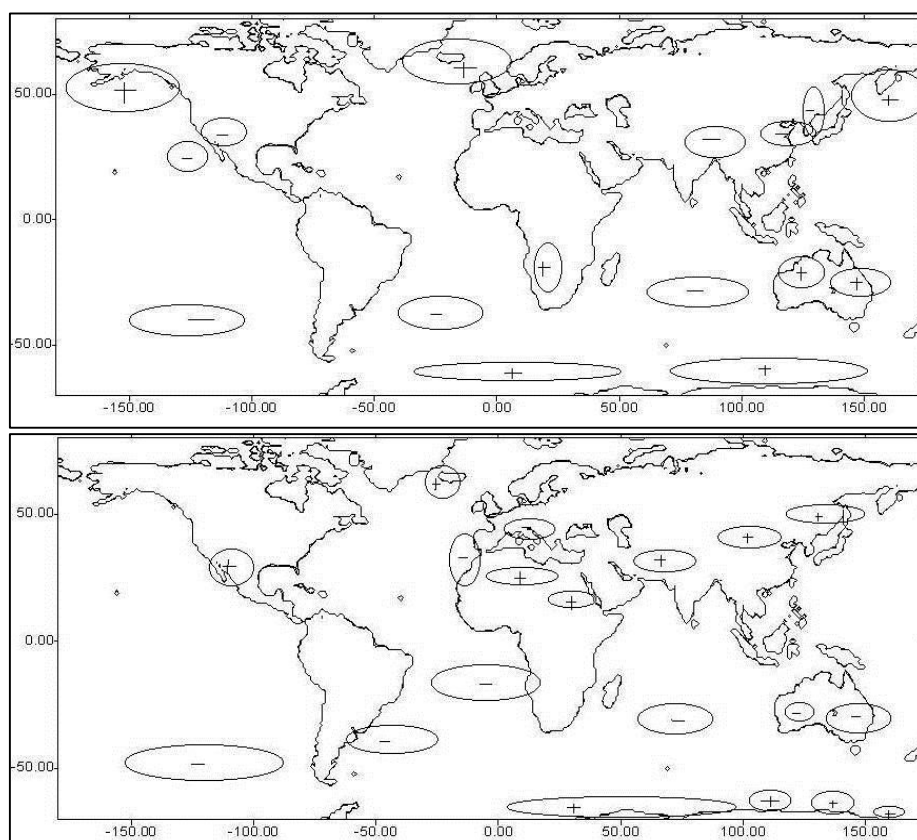
Да резюмираме, фиг. 24 показва, че както за лятото, така и за зимата, зоните на активен вихрогенез са строго локализирани и на всяка от тях съответства област с екстремни стойности на  $\delta\theta$ -лапласиана, като знакът на лапласиана е в съответствие с теоретичните разглеждания. Трябва да се отбележи обаче, че обратното е невярно. Това означава, че наличието на екстремни стойности на  $\delta\theta$ -лапласиана е само необходимо, но не и достатъчно условие за активен вихрогенез. Очевидно важна роля могат да играят и други фактори.

### **3.1.4. Лапласиани на $\delta\theta$ -топографията и орографията и атмосферните центрове на действие.**

В центровете на ниско налягане движенията са възходящи, а в центровете на високо - низходящи. Съгласно формула (3.1) това би трябвало да означава, че в центровете на ниско атмосферно налягане орографският лапласиан е отрицателен, а лапласианът на  $\delta\theta$ -топографията е положителен. И обратно, центровете на високо налягане са свързани с положителни орографски лапласиани и отрицателни  $\delta\theta$ -лапласиани. Приведените съображения дават основания да се очаква пространствена корелация между климатичните сезонни лапласиани на  $\delta\theta$ -топографията и орографията и атмосферните центрове на действие.

Фигура 25 представя центровете на действие в атмосферата и областите с екстремални стойности на лапласиана на  $\delta\theta$ -топографията със съответните знаци. Центровете на действие са маркирани с плътни черни криви, а + или - означава положителен или отрицателен  $\delta\theta$ -лапласиан. Информацията за  $\delta\theta$ -лапласиана е от фиг. 22.

От фиг. 25 се вижда, че характеризиращи се през цялата година с ниско налягане, Исландски и Алеутски минимум са покрити от области на  $\delta\theta$ -лапласиана с над 10 единици, като в съответствие с разширяването и задълбочаването на депресиите през зимата стойностите нарастват. И през двата сезона Азорският и Арктическият максимум съвпадат със зони на



**Фиг. 25.** Центровете на действие в атмосферата и областите с екстремални стойности на  $\delta\theta$ -лапласиана със съответните знаци през януари (горе) и през юли (долу).

отрицателен  $\delta\theta$ -лапласиан. Подобни корелации се установяват и за други райони на земното кълбо, в които целогодишно преобладават ниски или високи стойности на налягането.

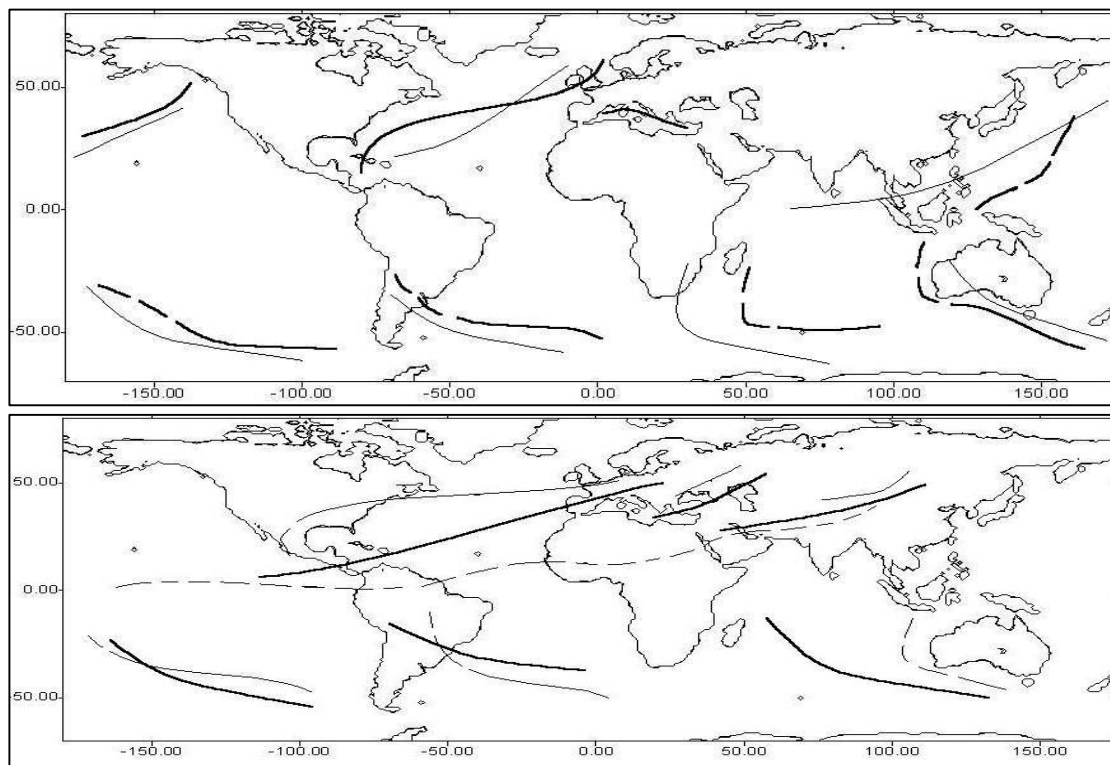
Южноатлантическият, Южнотихоокеанският и Южноиндийският антициклон се покриват от области с отрицателен  $\delta\theta$ -лапласиан. Предантарктическият пояс на ниско налягане съответства на зони на положителен  $\delta\theta$ -лапласиан, като отрицателният орографски лапласиан оказва своето влияние в очакваната посока. Дори по-слабо изразените Арктически антициклон и екваториална зона на понижено налягане се покриват от области със съответния знак на  $\delta\theta$ -лапласиана. Съпоставянето на разпределението на  $\delta\theta$ -лапласиана със сезонните центрове на действие в атмосферата също дава добри резултати. През зимата Азиатският и Канадският максимум се характеризират с големи отрицателни стойности на  $\delta\theta$ -лапласиана, а Южноафриканският циклон през януари и Южноазиатската депресия където орографският лапласиан е под 20 единици през юли са съответно положителни  $\delta\theta$ -лапласиани.

Да резюмираме, фиг. 25 показва, че между областите на постоянните и сезонните центрове на действие в атмосферата и областите на постоянен знак на  $\delta\theta$ -лапласиана и орографският лапласиан се наблюдава очакваната висока пространствена корелираност. Съответните знаци на лапласианите са в съответствие с теоретичните разглеждания.

### 3.1.5. Крупномасштабни нееднородности на $\delta\theta$ -топографията и климатичните фронтове

В сезонните климатични полета на  $\delta\theta$ -топографията ясно се идентифицират локализирани, крупномасштабни нееднородности, които образно могат да се нарекат  $\delta\theta$ -долини. При обтичането, локално под различен ъгъл, на тези  $\delta\theta$ -долини от преобладаващия климатично, западен пренос съгласно резултатите параграф 2.1.3 се генерират сложни като конфигурации деформационни полета и условия за вихрогенез. За определяне на местоположението на климатичните фронтове в атмосферата се използва комплексен анализ на картите на многогодишното разпределение на редица метеорологични елементи в това число циклоничната и антициклонична повтаряемост и генезис. Приведените съображения дават основания да се очаква пространствена корелация между конфигурациите на климатичните  $\delta\theta$ -долини и средните климатични фронтове в атмосферата

Фигура 26 представя средните климатичните фронтове съгласно Хромов (1956) и осите на основните  $\delta\theta$ -долини. По-плътните линии криви са фронтовете, а по-светлите - осите на  $\delta\theta$ -долините. Непрекъснатите линии са за арктическите, антарктическите и полярните фронтове, а прекъснатите - за тропически и пасатни фронтове. От фиг.26 се вижда, че както през януари, така и през юли климатичните фронтове са локализирани около осите на главните  $\delta\theta$ -долини.



Фиг.26 Климатични фронтове и осите на основните  $\delta\theta$ -долини през януари (горе) и юли (долу).

Да резюмираме, фиг. 26 показва, че между осите на основните климатичните  $\delta\theta$ -долини и средните климатични фронтове в атмосферата се наблюдава очакваната значителна пространствена корелация.

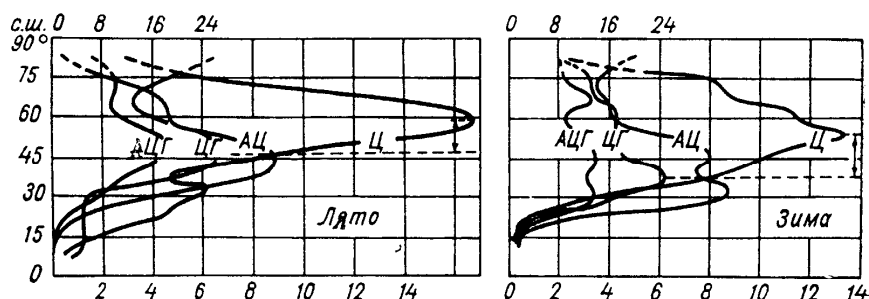
## 3.2. Климатичен анализ на движението на синоптичните вихри относно зоните на максимален вихрогенез

### 3.2.1. Постановка на задачата и използвани данни

Известен статистико-климатичен факт е, че както в северното така и в южното полукуълбо, след процесите на вихрогенез циклоните се преместват към полюсите, а антициклоните, макар и в по-малка степен, към екватора. Този ефект е най-ясно проявен при зонално осреднение. Фигура

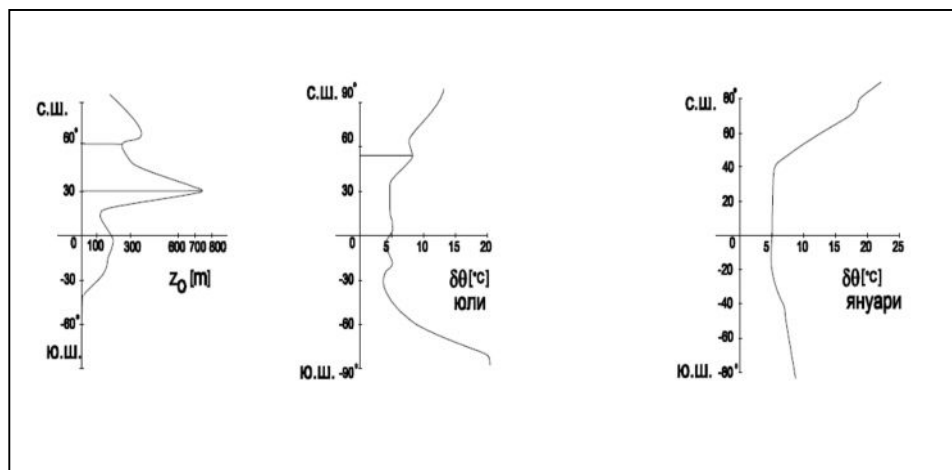


27 представя меридионалното разпределение на вихрогенеза и повторяемостта на синоптичните вихри в северното полукълбо през топлия и студения сезон. Левият панел е за лятото, десният - за зимата. Съкращенията Ц и АЦ се отнасят съответно за циклоните и антициклоните, а ЦГ и АЦГ - за циклогенеза и антициклогенеза. По вертикалните оси е географската ширина. Горната хоризонтална ос е за вихрогенеза, долната - за повтаряемостта. Скалите са в проценти от общия



**Фиг. 27.** Меридионално разпределение на вихрогенеза и повторяемостта на синоптичните вихри в северното полукълбо през лятото (ляво) и зимата (дясно).

брой на съответните наблюдения. Данните са от Pettersen (1956). Сравнявайки максимумите на кривите на вихрогенеза и кривите за повторяемостта на синоптичните вихри, можем да направим следните изводи. Както през лятото, така и през зимата зоната на максималната повторяемост на циклоните е отместена с средно около  $15^\circ$  на север към полюса от зоната на максимален циклогенез. Тези отмествания са маркирани на фигурата. При антициклоните двете зони са отместени незначително на юг.



**Фиг.28.** Меридионални профили на зонално осреднените орография (ляво) и  $\delta\theta$ -топографията през юли (център) и януари (дясно).

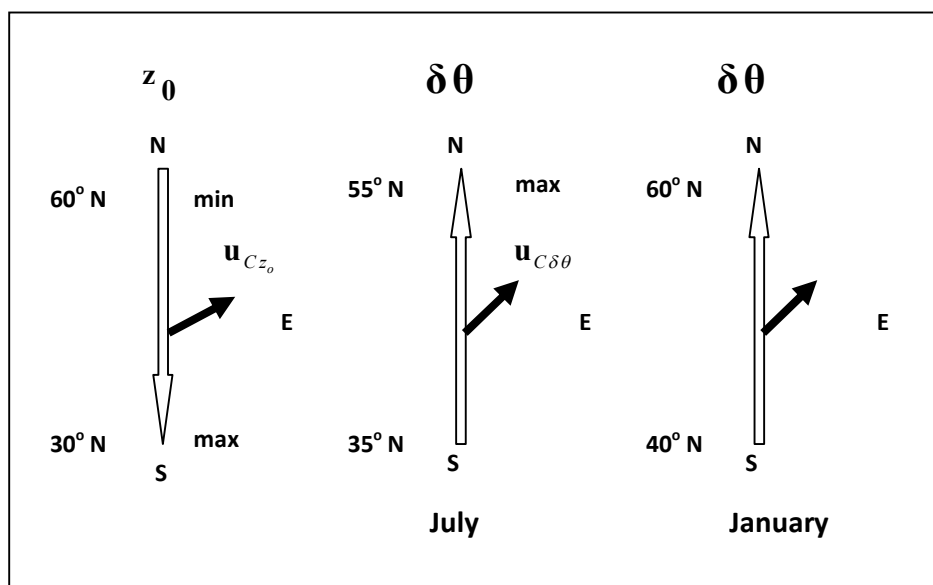
Възниква идеята за евентуална връзка между наблюдаваните разминавания на зоните на максимален вихригенеза и зоните на максимална повторяемост на синоптичните вихри от една страна и влиянието на хоризонталните неоднородности на ПГС върху движението на вихрите от друга страна. Всичко това в контекста на теоретичните резултати в Глава 1 за отклоняването на центрoвете на синоптичните вихри вследствие на орографията и  $\delta\theta$ -топографията.

За изследването на този въпрос ние използваме данните за зонално осреднените орография и  $\delta\theta$ -топографията от работата на Вивуцкий (1980). Фигура 28 представя меридионалените профили на зонално осреднените орография и  $\delta\theta$ -топографията през юли и

януари. По вертикалните оси е географската ширина, а по хоризонталните оси - орографията и  $\delta\theta$ -топографията. Единиците са съответно  $m$  и  $^{\circ}C$ . Хоризонталните отсечки маркират локалните екстремуми.

### 3.2.2. Зонално осреднени орография, $\delta\theta$ -топография и движението на синоптичните вихри относно зоните на максимален вихрогенез

Да се върнем към фиг. 27. Както се вижда през зимата зоната на максимален циклогенез е около  $38^{\circ}N$ , а антициклогенеза е размит между  $30^{\circ}N$  и  $45^{\circ}N$ . Зоната на максимална повтаряемост на циклоните е при около  $55^{\circ}N$ , а на антициклоните около  $35^{\circ}N$ . През лятото



Фиг.29. Меридионално разпределение на зонално осреднените орография (ляво) и  $\delta\theta$ -топографията през юли (център) и януари (дясно).

зоната на максимален циклогенез и антициклогенез съвпадат при около  $48^{\circ}N$ . За разлика от циклоните обаче, за които максимумът на повтаряемост е при около  $60^{\circ}N$ , максимумът на повтаряемост при антициклоните е отместен на значително по-малко разстояние на юг, при около  $42^{\circ}N$ . И така, през двата сезона зоните на максималната повтаряемост на циклоните са отместени на север; с около  $17^{\circ}$  през зимата и с около  $12^{\circ}$  през лятото. При антициклоните нещата не стоят така. През зимата зоните на максимален антициклогенез и максимална повтаряемост на антициклоните практически съвпадат, а през лятото имаме минимално разминаване в посока юг от около  $5 - 6^{\circ}$ .

Фигура 29 конкретизира илюстрираните с фиг. 2 общи теоретични резултати на параграф 1.2.2, за случая на зонално осреднените орографията и  $\delta\theta$ -топография на фиг. 28. Дългите незапълнени стрелки са градиентите, а черните стрелки са допълнителните скорости на центровете на синоптичните вихри  $u_{Cz_0}$  на орографията и на  $\delta\theta$ -топография. Числата дават локалните екстремуми и с това маркират границите на меридионалните интервали в които съответните градиенти са с постоянна посока. Дадени са също така и географските посоки.

Както се вижда, в ивицата ( $30^{\circ}N, 60^{\circ}N$ ) орографският градиент е на юг и отклоняващата скорост е със северна компонента. Тази тенденция е целогодишна. В зоните ( $35^{\circ}N, 55^{\circ}N$ ) през юли и ( $40^{\circ}N, 60^{\circ}N$ ) през януари градиентите на  $\delta\theta$ -топография са на север и отклоняващите скорости на североизток. Следователно независимо от сезона влиянието на орографията и  $\delta\theta$ -топографията би трябвало да се свежда до тенденцията на придвижване на



вихрите на север от зоните на максимален вихрогенез към зоните на максимална повтаряемост. Както се вижда от фиг.27 при циклоните това действително е така. Що се отнася до антициклоните, то нещата са съществено различни. Техните премествания са не само значително по-малки, но са и на юг, към екватора. Видимо тази своеобразна асиметрия се обуславя от неотчетени засега динамични фактори.

При движението на север вихровите нишки се разтягат защото височината на орографията се понижава. Това води до интензифициране на циклоналната и отслабване на антициклоналната завихреност. Ето защо циклоните, поддържани от динамичното орографско влияние, се придвижват до зоните на максимална повтаряемост където блокират в минимума на орографския профил около  $55 - 60^\circ \text{N}$  поради обръщането на посоката на градиента. Що се отнася до антициклоните, то придвижвайки се на север било поради отклоняващото влияние на орографията и  $\delta\theta$ -топографията, било поради северна компонента на водещия поток, то те отслабват поради динамичния ефект от орографията и статистически тенденцията за преместване на север е слаба.

При движението на юг поради наличието на южна компонента на водещия поток вихровите нишки се скъсяват защото височината на орографията се повишава. Това води съответно до интензифициране на антициклоналната и отслабване на циклоналната завихреност. Ето защо циклоните, отслабвани от динамичното орографско влияние и забавяни от кинематичното влияние на орографията и  $\delta\theta$ -топографията, са със статистически слаба тенденция за преместване на юг. Що се отнася до антициклоните, то придвижвайки се на юг при южна компонента на водещия поток, то поддържани от динамичното орографско влияние и забавяни от кинематичното влияние на орографията и  $\delta\theta$ -топографията, те все пак са с по-силна в сравнение с циклоните, статистическа тенденция за преместване на юг.

## Заклучение

В настоящата дисертационната работа ние поставихме четири цели.

Първата цел бе формулировка и обосноваването на прости, нагледни правила за влиянието на орографско-термична нееднородност на ПГС върху движението на отделните синоптичните вихри. Съответните разглеждания бяха изложени в секция 2.2. Правилата бяха формулирани на базата на общите теоритични резултати в параграф 1.2.2 и представени нагледно с фиг. 10. За тяхното обосноваване ние проведехме 145 комплексни наблюденията върху траекториите на 28 синоптични вихъра в района  $10^\circ \text{W} - 40^\circ \text{E}$  и  $30^\circ \text{N} - 54^\circ \text{N}$  през периода 01/01/2004-12/12/2013 и формирахме една  $145 \times 6$  матрица от данни. Три от стълбовете на матрицата съответстват на трите факторни променливи наблюдаваното отклонение на траекторията на вихъра от посоката на водещия поток и очаквани отклонения на центровете на вихрите поради влияние на орографията или  $\delta\theta$ -топографията, оценени по формулираните вече правила. Категоризацията на факторите е в три нива: отклонение надясно, наляво и без отклонение. С помощта на дескриптивни и тестови статистически техники ние убедително подкрепихме извода, че отклонението на един вихър надясно, наляво или без отклонение от водещия поток се определя от влиянието на орографията и  $\delta\theta$ -топографията в същата посока или когато единият от двата фактора действа в необходимата посока, а другият е неутрален.

Втората цел бе изследване на влиянието на глобалната орографско-термична нееднородност на ПГС върху вихрогенеза и сезонното придвижване на синоптичните вихри в климатичен мащаб. Съответното изследване бе проведено в секция 3.2. Ние използвахме сезонните данни за меридионалното разпределение на генеза и повтаряемостта на синоптичните вихри и меридионалните профили на зонално осреднените орография и  $\delta\theta$ -топография през юли и януари. Бе установено, че в районите на наблюдаваните отмествания на зоните на максимална повтаряемост на синоптичните вихри относно зоните на максимален вихрогенез, градиентите на орографията и  $\delta\theta$ -топографията благоприятстват преместването на вихрите от зоните на максимален циклогенез на север, до зоните на максимална повтаряемост. Наблюдаваната, своеобразната асиметрия в преместването на циклоните и антициклоните бе

обоснована с динамичния ефект от специфичния меридионален профил на зонално осреднената глобална орография.

Третата цел на работата бе анализа на сезонните пространствени корелации между крупномашабните орографско-термични нееднородности на ПГС и сезонните зони на максимален вихрогенез, постоянните или сезонните атмосферни центрове на действие и средните климатични фронтове. Анализът бе проведен в секция 3.1. Ние сравнихме съответно пространствените разпределения на зоните на активен вихрогенез и постоянните и сезонните центрове на действие в атмосферата от една страна и сезонните полета на лапласианите на орографията и  $\delta\theta$ -топографията от друга. Бе установено, че както за лятото, така и за зимата, зоните на активен вихрогенез са строго локализирани и на всяка от тях съответства област с екстремални стойности на  $\delta\theta$ -лапласиана и съответния знак на орографския лапласиан като знакът на лапласианите е в съответствие с теоретичните разглеждания. Бе установено, че между центрове на действие и областите на постоянен знак на  $\delta\theta$ -лапласиана се наблюдава очакваната висока пространствена корелираност като съответните знаци на лапласианите са в съответствие с теоретичните разглеждания. Бяха установени също и значителни пространствени корелации между осите на основните климатични  $\delta\theta$ -долини и средните климатични фронтове.

Четвъртата цел на работата бе подробно изследване на ефектите от обтичането на някои типични, моделни профили на орографско-термичните нееднородности на ПГС с оглед на анализа и диагностиката на някои метеорологични явления и процеси от синоптичен мащаб. Съответните разглеждания бяха проведени в секция 2.1. Ние аналитично и графично, поотделно изследвахме полетата на вертикалната скорост генерирана от обтичането на моделни орографска преходна зона и хребет, термична преходна зона и хребет и термичен връх или котловина. Оказа се, че общото във всички тези случаи е наличието на едно разделително направление за вятъра при преминаването през което картината на генерираните полетата претърпяват качествена промяна. Аналитично и графично бяха намерени екстремумите на безразмерната вертикална скорост в дадена точка като функция от ъгъла на обтичане и ъгъла между орографската и термичната нееднородност, а с това и условията за максимален локален вихрогенез. Получените резултати бяха привлечени за анализ и диагностика на три реални синоптични ситуации. Ние показахме, че полетата на облачността от спътниковите снимки на крайбрежната зона на Японско море от 09/05/1971 01 57 UTC и 27/04/1971 03 20 UTC могат да се диагностицират като резултат от обтичането на съответните орографски преходни зони. Бяха анализирани също и валежните обстановки на 13/01/1960 08 00 GMT и 28/03/1965 08 00 GMT в района на Варна, България, различията в които могат да се разглеждат като обтичане на една и съща орографска преходна зона, но под различни ъгли. И накрая ние интерпретирахме раздвояването над Алпите на циклона от 02/06/1966 00 00 GMT, като ефект от обтичането на орографски хребет.

## Публикации

Syrakov E., M. Tsankov, J. Bonewitz (2007) The impact of topography and thermal factors in the pbl on cyclone and anticyclone trajectories. *Bulg. Geophys. J.*, **33**, 44-52.

Сираков Е., Й. Боневиц (2013) Влияние на подредените синоптични вертикални движения върху височината на атмосферния граничен слой. *Годишник на СУ - ФзФ*, **106**, 148-153.

Сираков Е., Й. Боневиц (2013) Някои крупномашабни ефекти свързани с хоризонтални термични нееднородности в атмосферния граничен слой (АГС). *Годишник на СУ - ФзФ*, **106**, 126-137.

Сираков Е., Й. Боневиц, С.Петрова (2013) Върху връзката на термичния и орографски лапласиани с основни климатични процеси в атмосферата. *Годишник на СУ - ФзФ*, **106**, 138-147.

Сираков Е., Й. Боневиц (2014) Някои интегрални характеристики на взаимодействие на атмосферния граничен слой при различни по тип земни повърхности. *Годишник на СУ - ФзФ*, **107**, 20-30.

Сираков Е., Й. Боневиц, М. Цанков (2014) Някои аспекти на влияние на напречното и надлъжното обтичане на орографско-термични хоризонтални нееднородности върху синоптичните процеси. *Годишник на СУ - ФзФ*, **107**, 31-45.

Сираков Е., Й. Боневиц (2015) Върху влиянието на орографията и термичните нееднородности на генеза и движението на баричните образувания (циклони, антициклони) при зонално осреднение. *Годишник на СУ - ФзФ*, **108**, 105-114.

Боневиц Й., Е. Сираков, С. Евтимов (2016) Влияние на орографските и термичните хоризонтални нееднородности в ПГС върху отклонението на синоптичните вихри от водещия поток. (*подготвя се за печат*).

## Приноси на дисертационния труд

- Установени са прости правила за отклоненията на синоптичните вихри от водещия поток вследствие на влиянието на орографията и  $\delta\theta$ -топографията.
- Установени са полетата на вертикалната скорост на върха на ПГС, генерирани от обтичането на типични, моделни профили на орографията и  $\delta\theta$ -топографията и е демонстрирана тяхната ефективност при анализа и диагностиката на различни метеорологични явления и процеси от синоптичен мащаб.
- Установени са значителни пространствени корелации между сезонните, климатични зони на активен вихрогенез и лапласианите на орографията и сезонната  $\delta\theta$ -топография.
- Установени са значителни пространствени корелации между постоянните и сезонните центрове на действие в атмосферата и лапласианите на орографията и сезонната  $\delta\theta$ -топография.
- Установени са значителни пространствени корелации между средните климатични атмосферни фронтове и сезонните крупномащабни нееднородности на  $\delta\theta$ -топографията.
- Установена е връзка между отместването на зоните на максимален вихрогенез и максимална повтаряемост в меридионалното разпределение на синоптичните вихри, а също асиметрията циклон-антициклон и отклоняващото действие върху преместването на вихрите на зонално осреднените орографията и  $\delta\theta$ -топография.

## Литература

Arya, S. P. S. (1981) Parameterizing the Height of the Stable Atmospheric Boundary Layer. *J. Appl. Meteor.*, 20, 1192-1202.

Beljaars, A., M. Vieterbo (1998) Role of the boundary layer in a numerical weather prediction model. *Proc. Of the Coll. Clear and Clouby Boundary Layers*.

Collier, C., G. July (1975) *QJRMS*, 101, 429, 407.

Earth System Research Laboratory: NCEP/NCAR Reanalysis 1: Surface, potential temperature, <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.surface.html>.

Earth System Research Laboratory: NCEP/NCAR Reanalysis 1: Surface, geopotential height (hgt), URL: [http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.surface. 1](http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.surface.1) and orography zo, URL: [http://margaret.atmos.washington.edu/data\\_sets/elevation/html](http://margaret.atmos.washington.edu/data_sets/elevation/html).

Gill, A. E. (1982) *Atmosphere-Ocean Dynamics*. Academic Press, Cambridge.

Godev, N. (1970). On the Ciclogenetic Nature of the Earths Orographic Form. The introduction of the effect of orography and friction into methods of numerical forecasting. *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. A*, 19, 299-310.

Godev, N., E.Syrakov (1984) Numerical Forecast of Pressure Field by Considering the mutual Influence of Orography, Thermal Nonhomogeneity and Surface Friction. *Proc.Nowcasting-II symposium, Sweden, (ESA SP-208)*, 315-319.

Hothorn, T., K. Hornik, M. A. van de Wiel, A. Zeileis (2006) A Lego System for Conditional Inference. *The American Statistician*, **60**, 3, 257–263.

- Hothorn, T., K. Hornik, M. A. van de Wiel, A. Zeileis (2008). Implementing a class of permutation tests: The coin package, *Journal of Statistical Software*, **28**, 8, 1–23.
- Palmer E., C. Newton (1969) *Atmospheric Circulation Systems*. Ac.Press, New York, London.
- Pettersen, S. (1956) *Weather analysis and forecasting*. London Cent. Proc. Roy. Meteor. Soc., 120
- Syrakov, E., (1985). A Generalized Approach for Studying the Horizontal Inhomogeneities in PBL in synoptic scale. *Zb. Meteorol. i Hidr. Rad.*, 12, 200-205.
- Syrakov, E., H. Chervenkov (2001) Some Aspects on the Joint Effects of Topography, Thermal Horizontal Inhomogeneities and Surface Friction on The Synoptic Vertical Motions on the top of PBL. *Bulg. J. Meteor. Hydr.*, 12, 97-110.
- Wetter3.de - <http://www1.wetter3.de/>, synoptic analysis charts 2004-2013.
- Wetterzentrale - [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de), synoptic charts of American service for meteorology forecasts (GFS).
- Wollace J., S. Tibaldi, A. Simmons (1982). A study of the relationship between the orography and systematic errors of the ECMWF model. NGNE-III Report, Appendix C.
- Yordanov, D., N.Godev (1973) Parameterization of Orographical Effects in Planetary Boundary Layer. *Boundary-Layer Meteorol.*, 5, 309-320.
- Аероклиматическият атлас северного полушария. Температура, плотность, влажность (1963), Гидрометеиздат, Ленинград.
- Аероклиматическият атлас северного полушария. Температура, плотность, влажность (1968), Гидрометеиздат, Ленинград.
- Вельтищева, Н. (ред). (1973) *Использование данных о мезомасштабных особенностях облачности в анализа погоды*. Гидрометеиздат, Ленинград.
- Вивуцкий, Г. (1980) *Зональность климата земли*. изд. “Мисл”
- Гандин, Л. С., А. С. Дубов (1968) *Численные методы краткосрочного прогноза погоды*. Гидрометеиздат, Ленинград.
- Годев, Н. (1976) *Синоптика метеорология*, Изд. “Наука и искусство”.
- Зверев, А. С., (1957) *Синоптическая метеорология*, Гидрометеиздат, Ленинград.
- Кибель, И. А. (1940) *Применение к метеорологии уравнений механики бароклиной жидкости к метеорологии*. Известия АН СССР, серия геогр. и геофиз., 5.
- Марчук, Г. Н. (1967) *Численные методы в прогнозе погоды*. Гидрометеиздат, Ленинград.
- Панчев, С. (1977) *К вопросу вертикальных токов в планетарном пограничном слое атмосферы индуцированные орографией и турбулентностью*. Бълг. Геоф. Списание, VIII, 22-29.
- Петрова, С. С. (2002) *Някои аспекти на параметризация на бароклинен ПГС над орографски и термически нееднородна повърхност.*, дипломна работа, СУ “Св. Климент Охридски”, ФзФ, кат. “Метеорология и Геофизика”.
- Сираков, Е. (1979а) *О зависимости коэффициента вертикального турбулентного обмена и вертикальной скорости от орографско-термических неоднородности подстилающей поверхности в пограничном слое атмосферы*. IX-та межд. конф. по метеор., Карпат С., 288-294.
- Сираков, Е. (1979б) *О параметризации пограничного слоя атмосферы над орографско-термической неоднородной земной поверхностью*. IX-та межд. конф. по метеор., Карпат С., 281-288.
- Сираков, Е. (2011) *Атмосферен граничен слой - структура, параметризация, взаимодействия*. Heron press, Sofia.
- Сираков, Е., С. Петрова (2004) *Върху структурата на синоптичните вертикални движения, индуцирани от съвместното влияние на орографско-термичните неоднородности, бароклинността и приземното триене в планетарния граничен слой*. Год.СУ,Физ.фак., 97, 155-174.
- Трудове на Института по хидрология и метеорология, том VII, Типове време над България (1960). Държавно Издателство „Наука и Искусство”, София.
- Хромов, С. П. (1956) *Изд. “Природа”*, 1, 480.

## Благодарности

В памет на проф. Евгени Сираков

Благодаря сърдечно за напътствията и помощта на научния ми ръководител проф. дфн Евгени Сираков. Благодаря на доц. д-р Силиян Евтимов за помощта при завършването на дисертационната работа, на Мартин Иванов, Милен Цанков и Силвия Петрова за ползотворната съвместна работа. Благодаря и на моето семейство за подкрепата.