

**ПАРАМЕТРИЗАЦИОННА СХЕМА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ
НА ПРИЗЕМНИ ПОТОЦИ И ВРЪЗКИ МЕЖДУ
ОСНОВНИ ПС И ПГС ХАРАКТЕРИСТИКИ С
ОТЧИТАНЕ НА НЕЛОКАЛНИ ОБМЕННИ ПРОЦЕСИ
ПРИ БАРОТРОПНИ И БАРОКЛИННИ УСЛОВИЯ**

ЕВГЕНИ СИРАКОВ, ЕМИЛ ЧОЛАКОВ

Катедра "Метеорология и геофизика"

Евгени Сираков, Емил Чолаков. ПАРАМЕТРИЗАЦИОННА СХЕМА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ПРИЗЕМНИ ПОТОЦИ И ВРЪЗКИ МЕЖДУ ОСНОВНИ ПС И ПГС ХАРАКТЕРИСТИКИ С ОТЧИТАНЕ НА НЕЛОКАЛНИ ОБМЕННИ ПРОЦЕСИ ПРИ БАРОТРОПНИ И БАРОКЛИННИ УСЛОВИЯ

На базата на две основни параметризационни схеми, включващи: ПС – интегрално число на Ричардсон: R_b метод; ПГС – закони на съпротивление: R_l метод, е конструиран комбиниран хибриден подход: (R_b-R_l) -метод, базиращ се на съгласувано тяхно използване. На тази база са решени редица задачи по параметризация на приземните потоци, намиране на основни връзки между ПС и ПГС параметри и др. Освен конвенционалния аспект на проблема специално внимание е обърнато на отчитане на нелокалните обменни процеси между (ПС-ПГС) и свободната атмосфера [4]. Показана е значимостта на тези ефекти, което означава, че те трябва да се вземат предвид при параметризационните схеми за числени модели по прогноза на времето, климата, задачи за атмосферно замърсяване и др. Подходът може да бъде прилаган и за параметризация при по-сложни турбулентни режими (инверсии, наклон на терена и др.), както и към процеси на взаимодействие атмосфера–океан.

Evgeni Syrakov, Emil Cholakov. PARAMETERIZATION SCHEME FOR DETERMINATION OF THE SURFACE FLUXES AND THE RELATIONSHIPS BETWEEN BASIC BL AND PBL CHARACTERISTICS CONSIDERING THE NON-LOCAL EXCHANGE PROCESSES AT BAROTROPIC AND BAROCLINIC CONDITIONS

On the base of two fundamental parameterization schemes: BL – integral number of Richardson: R_b method; PBL – resistance laws: R_l method, it is constructed joint

approach: (Rb–Rl) method, based on their combine use. It has been determined series problems about parameterization of boundary fluxes, finding the main relationships between the BL and PBL parameters. Besides the conventional aspect of this problem, special attention is paid to the consideration of the non-local exchange processes between (BL–PBL) and the free atmosphere [4]. It is shown the significance of these effects, which means that they have to include in the parameterization schemes of numerical forecast and climate models, problems of air pollution and others. This approach can be utilized at more complexier turbulent regimes (inversions, slopping terrains and others), as well and processes of interaction atmosphere–ocean.

Keywords: integral parameterization method, drag and heat coefficient, bulk Richardson number, resistance law, non-local effects

PACS number: 92.10.Lq

1. УВОД И БАЗОВИ СЪОТНОШЕНИЯ

При параметризация на потоците на импулс и топлина, например на долното ниво z_1 на числените модели за прогноза на времето, климатични модели и др., е удобно да се използва интегралното (bulk) число на Ричардсон (вж. [1–4]):

$$R_b = \frac{\beta \Delta \theta}{U_1^2} z_1, \quad (1)$$

където $\Delta \theta = \theta_1 - \theta_0$; θ_1, U_1 – потенциална температура и скорост на вятъра на ниво z_1 в ПС, $\theta_0 = \theta(z = z_{0T})$, z_{0T} – параметър на грапавост за температурата. Профилите на скоростта $U(z)$ и потенциалната температура $\theta(z)$ при $z = z_1$ имат вида

$$U(z_1) = U_1 = \frac{U_*}{\aleph} \left(\ln \frac{z_1}{z_{0u}} - \Psi_{u1} \right), \quad \Psi_{u1} = \int_{\xi_{0u}}^S (1 - \varphi_u) \frac{d\eta}{\eta}, \quad (2)$$

$$\theta(z_1) = \theta_1 = \frac{\theta_*}{\aleph_T} \left(\ln \frac{z_1}{z_{0T}} - \Psi_{\theta 1} \right), \quad \Psi_{\theta 1} = \int_{\xi_{0T}}^S (1 - \varphi_\theta) \frac{d\eta}{\eta}, \quad (3)$$

където U_* е динамична скорост; $\theta_* = -q/U_*$, q – нормиран вертикален поток на топлина в ПС, z_{0u} – динамичен параметър на грапавост, $\aleph \approx 0,4$ – константа на Фон Карман, $\aleph_T \approx 0,42$; $\xi_{0u} = z_{0u}/L$; $\xi_{0T} = z_{0T}/L$; $L = -U_*^3/\beta q$ – мащаб на Монин-Обухов, β – параметър на плаваемост, $\eta = z/L$, $S = z_1/L$.

Функциите φ_u и φ_θ при устойчива стратификация се задават във вида [5]

$$\varphi_u = 1 + C_u \frac{z}{L} (1 + C_{NM}^2 Fi^2)^{1/2}, \quad (4)$$

$$\varphi_\theta = 1 + C_\theta \frac{z}{L} (1 + C_{NH}^2 Fi^2)^{1/2}, \quad (5)$$

при следните стойности на константите: $C_u = C_\theta = 2$, $C_{NM} = 0,06$, $C_{NH} = 0,6$, а при неустойчива [2]:

$$\varphi_u = (1 - \gamma_u \xi)^{-1/3}, \quad \varphi_\theta = (1 - \gamma_\theta \xi)^{-1/3}, \quad (6)$$

където $\xi = z/L_{MO} \equiv Z\mu$, $L_{MO} = -U_*^3/\aleph\beta q$ е мащаб на Монин-Обухов (традиционно нормиран на \aleph), $Z = z/(\aleph U_*/f)$, $\mu = (\aleph U_*/f)/L_{MO}$ е вътрешен параметър на стратификация в ПГС, $\gamma_u = 7, \gamma_\theta = 70$. Формули (6) лесно могат да бъдат записани и в променлива $\eta = z/L$, като се използва връзката $L_{MO} = L/\aleph$, т. е. $\xi = \aleph\eta$:

$$\varphi_u = (1 - \tilde{\gamma}_u\eta)^{-1/3}, \quad \varphi_\theta = (1 - \tilde{\gamma}_\theta\eta)^{-1/3}, \quad (7)$$

където $\tilde{\gamma}_u = \aleph\gamma_u = 2.8$, $\tilde{\gamma}_\theta = \aleph\gamma_\theta = 28$.

Безразмерното число

$$Fi = \frac{NL}{U_*}, \quad (8)$$

въведено в [5], което е реципрочо на числото на Фруд, характеризира не-локалните ефекти на взаимодействие между свободната атмосфера и така наречения дългосъществуващ (long-lived) планетарен граничен слой (ПГС), при високите географски ширини, $N = \beta \frac{d\theta}{dz}|_{z>H}$ е число на Брунт-Вайсала в свободната атмосфера, H е височина на ПГС.

При отчитане на (2) и (3) въвеждаме коефициентите на съпротивление C_d и топло обмен C_t :

$$C_d^{1/2} = \frac{U_*}{U_1} = \frac{\aleph}{\lambda_u - \psi_{u1}}, \quad \lambda_u = \ln \frac{z_1}{z_{0u}}, \quad (9)$$

$$C_t = \frac{\theta_*}{\Delta\theta} = \frac{\aleph_T}{\lambda_\theta - \psi_{\theta 1}}, \quad \lambda_\theta = \ln \frac{z_1}{z_{0T}}, \quad (10)$$

и съответните при безразлична стратификация

$$C_{dN}^{1/2} = \frac{\aleph}{\lambda_u}, \quad C_{tN} = \frac{\aleph_T}{\lambda_\theta}, \quad (11)$$

което позволява да се дефинират и корекционните функции [1], [7]

$$f_d = \frac{C_d}{C_{dN}}, \quad f_t = \frac{C_t}{C_{tN}}. \quad (12)$$

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРИ ОТЧИТАНЕ НА НЕЛОКАЛНИ ЕФЕКТИ

Основната задача, която възниква тук, е определяне вида на безразмерните параметри (9)–(12), които характеризират процесите на динамично и топлинно взаимодействие на атмосферата със земната повърхност. Както видяхме по-горе, при устойчива стратификация тези процеси допълнително се усложняват от възникващи в някои случаи нелокални ефекти на обмен между свободната атмосфера и ПГС. Този проблем е недостатъчно изучен, поради което ще му отделим специално внимание.

2.1. R_b МЕТОД

Този метод включва две последователни стъпки:

а) определяне явния вид на (9)–(12) от съответен набор параметри, характеризиращи турбулентния режим;

б) на тази основа чрез интегралното число на Ричардсон R_b и математически процедури, определяне на конкретните стойности на (9)–(12) в зависимост от различни метеорологични ситуации.

Пристъпвайки към първия етап, ще разгледаме отделно случаите на устойчива и неустойчива стратификация в ПС и ПГС.

Ще започнем със случая на устойчива стратификация. Поставяйки (2) и (4) в (9), получаваме квадратно уравнение за $C_d^{1/2}$.

Избирайки решението, имащо физически смисъл, определяме

$$C_d^{1/2} = \frac{2N^2 \left(1 - \frac{C_{NM}^2 C_u^2 F_{i0}^2}{N^2} \right)}{2N\lambda_u + \sqrt{4N^2 C_u^2 S^2 \left(1 - \frac{C_{NM}^2 C_u^2 F_{i0}^2}{N^2} \right) + 4C_{NM}^2 C_u^2 \lambda_u^2 F_{i0}^2}}. \quad (13)$$

Въз основа на (10) при отчитане на (3) и (5) намираме също

$$C_t = \frac{N_T}{\lambda_\theta + C_\theta \left(S^2 + C_{NH}^2 \frac{F_{i0}^2}{C_d} \right)^{1/2}} \quad (14)$$

Най-после, с помощта на (2)–(5) от (1) получаваме

$$R_b(\lambda_u, \lambda_\theta, S, F_{i0}) = \frac{N^2}{N_T} S \frac{\lambda_\theta + C_\theta \left[S^2 + C_{NH}^2 \frac{1}{C_d} F_{i0}^2 \right]^{1/2}}{\left[\lambda_u + C_u \left(S^2 + C_{NM}^2 \frac{1}{C_d} F_{i0}^2 \right)^{1/2} \right]^2}, \quad (15)$$

откъдето при $S \rightarrow \infty$ определяме и критичното число на Ричардсон R_{bc} :

$$R_{bc}(F_{i0}) = \frac{N^2 C_\theta}{N_T C_u^2} \frac{(1 + C_{NH}^2 F_{i0}^2 A^{-2})^{1/2}}{(1 + C_{NM}^2 F_{i0}^2 A^{-2})}, \quad (16)$$

$$A = \frac{N}{C_u} \left[1 - \left(\frac{C_u C_{NM}}{N} \right)^2 F_{i0}^2 \right]^{1/2},$$

което при $F_{i0} = 0$ съвпада с класическата формула [3]: $R_{bc}(0) = N^2 C_\theta / N_T C_u^2$ без нелокални ефекти. Безразмерното число [4]

$$F_{i0} = \frac{N z_1}{U_1} \quad (17)$$

представлява аналог на числото Fi , но е конструирано с помощта на външни параметри. То варира в атмосферата в интервал $0 \leq Fi_0 < 1$.

По аналогичен начин определяме и съответните параметри, при неустойчива стратификация в ПС. При отчитане на (2), (3) и (7), въз основа на (1) намираме

$$R_b = \frac{N^2}{N_T} \frac{\lambda_\theta - \psi_{\theta 1}}{(\lambda_u - \psi_{u 1})^2} S, \quad (18)$$

където $\psi_{u 1}$ и $\psi_{\theta 1}$ имат вида [2]

$$\begin{aligned} \psi_{u 1} &= \frac{3}{2} \ln \frac{y^2 + y + 1}{3} - \sqrt{3} \arctan \frac{y - 1}{\sqrt{3}(y + 1)}, & y &= (1 - \tilde{\gamma}_u S)^{1/3} \\ \psi_{\theta 1} &= \frac{3}{2} \ln \frac{\tilde{y}^2 + \tilde{y} + 1}{3} - \sqrt{3} \arctan \frac{\tilde{y} - 1}{\sqrt{3}(\tilde{y} + 1)}, & \tilde{y} &= (1 - \tilde{\gamma}_\theta S)^{1/3}. \end{aligned} \quad (19)$$

Като поставим (19) в изразите (9)–(12), определяме и останалите параметри C_d , C_t , f_d , f_t за случая на неустойчива стратификация в ПС.

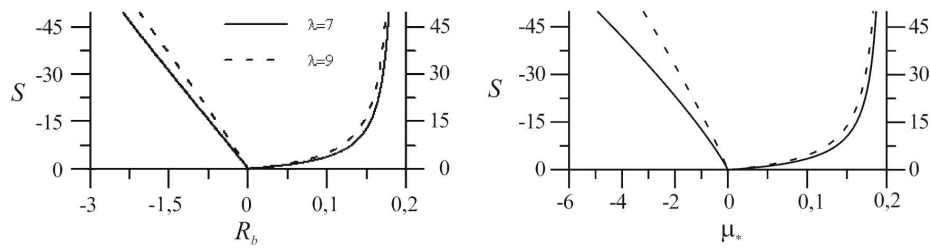
2.2. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

На базата на представените по-горе резултати задачата за взаимодействие атмосфера–земна повърхност, при устойчива стратификация, се свежда до системата (13)–(15), а при неустойчива стратификация — до (9), (10), (18) при отчитане на (19).

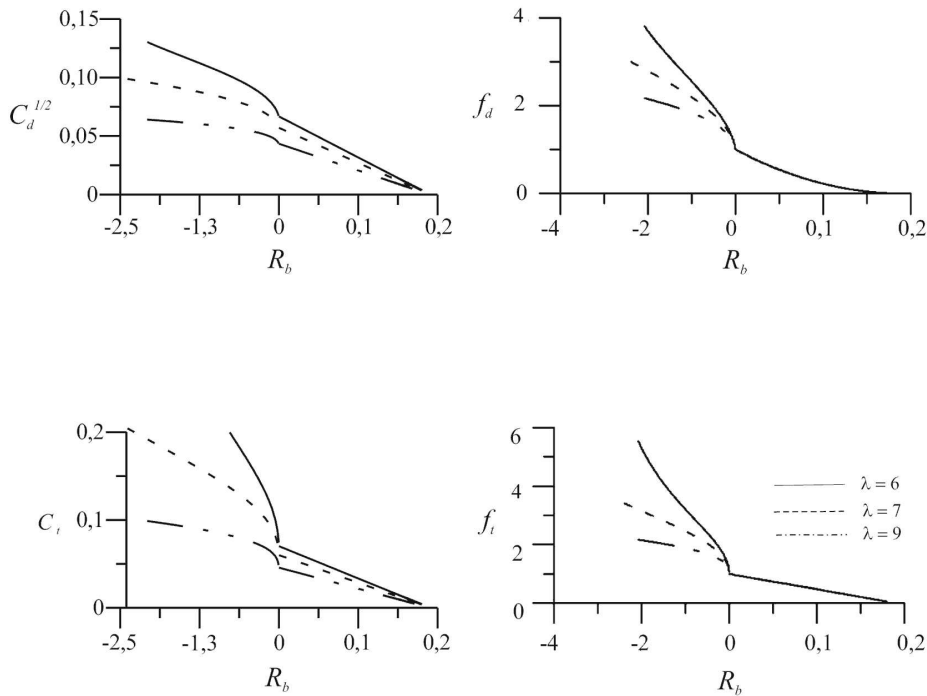
Математичният алгоритъм за решаване на тези системи е следният: чрез математична процедура, се прави “обръщане” на уравнения (15), (при устойчива стратификация) или (18) (при неустойчива), при което те се решават относно S . Така определената величина S като функция на параметрите, характеризиращи турбулентния режим в ПС:

$$\lambda_u, \lambda_\theta, R_b, F_{i0}, \quad (20)$$

се замества в (13), (14) и съответно в (9), (10), с което се определя тяхната явна зависимост от (20). Това позволява при различни набори на параметри (20) (които се определят по приземни данни и величината N) да се определят коефициентите на съпротивление C_d , топлообмен C_t и корекционните функции (12). Именно тези параметри се използват широко за параметризация в числени модели за прогноза на времето, климат, модели за транспорт на замърсители и редица други приложни задачи. Тъй като C_d , C_t , f_d , f_t и S са функции на четирите параметъра (20) (при устойчива стратификация) и на три (при неустойчива стратификация, когато $F_{i0} = 0$), получените резултати са демонстрирани с набор от представителни фамилии от криви.



Фиг. 1. Зависимост на параметъра S от величините R_b и μ_* при различни стойности на λ . Дясната скала се отнася за устойчива стратификация



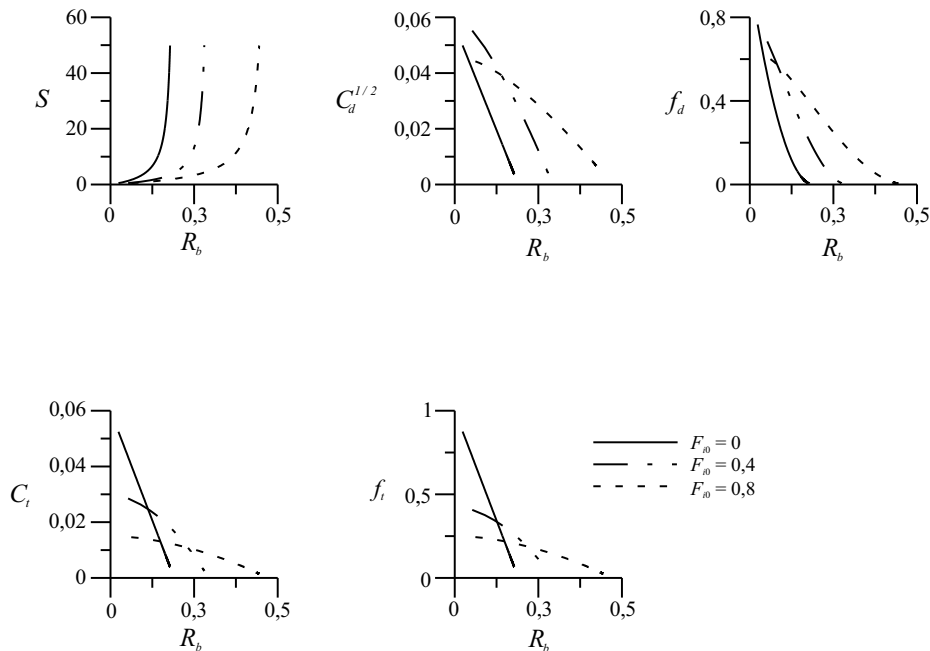
Фиг. 2. Зависимост на коефициента на съпротивление C_d и топлообмен C_t и съответните корекционни функции f_d и f_t от числото на Ричардсон R_b при различни стойности на параметъра λ

На фиг. 1 е представена зависимостта на величината $S = z_1/L$, реципрочна на мащаба на Монин-Обухов, от локалния параметър R_b за ПС и от параметъра $\mu_* = C_d^{1/2} S$, пропорционален на вътрешния параметър на стратификация в ПГС (вж. (26)). Параметърът R_b е вариран в целия диапазон на изменение

на стратификацията: $-0,25 \leq R_b \leq R_{bc}$, от силна неустойчивост до пределна устойчивост, където $R_b \rightarrow R_{bc}$ при различни стойности на $\lambda = \lambda_u = \lambda_\theta$ тук и навсякъде по-долу, $z_1 = 10$ m.

Аналогични фамилии от криви се дават на фиг. 2 за коефициентите на съпротивление C_d и топлообмен C_t , както и за съответните корекционни функции f_d и f_t . Тези величини нарастват с увеличение на неустойчивостта в ПС и увеличение на параметъра на грападост z_0 (т. е. намаление на λ). Влиянието на грападостта е най-силно изразено при неустойчива стратификация ($R_b < 0$) и намалява или практически липсва (универсалност относно z_0) при f_d и f_t . На фиг. 3 се проследява влиянието на нелокалните обменни процеси при устойчива стратификация, характеризиращи се чрез параметъра F_{i0} .

Общият извод е, че с нарастване на тези ефекти (F_{i0} расте) се разширява диапазонът на R_b , т. е. нараства критичното число R_{bc} . Вижда се също, че влиянието на F_{i0} върху всички характеристики, показани на фиг. 3, е много съществено.



Фиг. 3. Влияние на нелокалните ефекта на взаимодействие на ПГС със свободната атмосфера, (характеризиращи се чрез F_{i0} , върху S , $C_d^{1/2}$, f_d , C_t , f_t , при $\lambda = 7$, за целия диапазон на изменение на R_b : $0 < R_b \leq R_{bc}$

Това показва, че неотчитането на този фактор може да доведе до значителни неточности в параметризацията.

**3. ПОДХОД, БАЗИРАЩ СЕ НА СЪГЛАСУВАНО
ИЗПОЛЗВАНЕ НА R_b -МЕТОД И ЗАКОНИТЕ
НА СЪПРОТИВЛЕНИЕ
(R_b - R_l МЕТОД)**

Разгледаният по-горе R_b метод позволява по входните параметри (20), които лесно се определят по приземни измервания (и параметъра N при отчитане на нелокални ефекти [6]), да се определят основните характеристики на взаимодействие в ПГС, свързани с приземните потоци.

От друга страна, законите на съпротивление (R_l) характеризират интегрално целия ПГС и се запазват чрез външни аеролого-синоптични параметри. Тук ще реализираме подход, който обединява тези две основни параметризационни методики.

3.1. ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА

Ще използваме развитата в [2] хибридна параметризационна схема, включваща съвместно и съгласувано използване на R_b -метод и законите на съпротивление (R_l -метод), като при това отчетем и нелокалните ефекти при устойчиви условия[8].

Въз основа на законите на съпротивление на ПГС, комбинирани по подходящ начин с R_b -метода и отчитане вида на универсалните функции A, B, C се стига до следната достатъчно обща постановка на хибридният R_b - R_l метод [2], [8] :

$$\aleph \frac{G_0}{U_1} = f_g, \quad f_g = (f_1^2 + f_2^2)^{1/2}, \quad (21)$$

където

$$f_1 = BC_d^{1/2}, \quad f_2 = C_d^{1/2} [\ln(C_d^{1/2} \tilde{R}o) - A],$$

$$\frac{\delta\theta}{\Delta\theta} = f_t, \quad f_t = \frac{C_t}{\aleph} [\ln(C_d^{1/2} \tilde{R}o) - C], \quad (22)$$

$$\alpha = \arctan \frac{B}{\ln(C_d^{1/2} \tilde{R}o) - A}. \quad (23)$$

Тук G_0 е модул на геострофния вятър, α – ъгъл на пълно завъртане на вятъра в ПГС, $\delta\theta = \theta_H - \theta_0$ – разлика на потенциалната температура в ПГС, $\tilde{R}o = U_1/fz_0$ – локално число на Росби в слоя $0 - z_1$, $\Delta\theta = \theta_1 - \theta_0$.

Фигуриращите в (21)–(23) универсални функции A, B, C при отчитане на стратификация, бароклинност и нелокални ефекти в ПГС зависят от следните параметри: μ, μ_N, M, Φ , т. е.

$$\begin{aligned} A &= A(\mu, \mu_N, M, \Phi), \\ B &= B(\mu, \mu_N, M, \Phi), \\ C &= C(\mu, \mu_N, M, \Phi), \end{aligned} \quad (24)$$

където

$$\mu = \frac{\aleph U_*}{L_{MO} f}, \quad \mu_N = \frac{N}{f}, \quad M = (\eta_x^2 + \eta_y^2)^{1/2}, \quad \Phi \quad (25)$$

са съответно вътрешен параметър на стратификация (μ), параметър характеризиращ нелокалния обмен между свободната атмосфера и ПГС (μ_N) [5], вътрешни бароклини параметри (η_x, η_y), които могат еквивалентно да се изразят чрез M , и Φ – ъгъл между приземния и термичния вятър.

За целите на разглежданата задача е необходимо да имаме явната зависимост на A, B, C от параметри (25). Тази задача е решена в [8, 9]. Тук ще използваме резултати от [9], както следва:

—при баротропни условия A, B, C се задават съгласно формули (15)–(17) от [9];

—при бароклини условия: $A = A_b, B = B_b, C = C_b$, се задават съгласно формули (18)–(21) от [9].

Отчитайки това, ще считаме по-нататък A, B, C от (24) като явно зададени, известни функции на параметрите μ, μ_N, M, Φ .

Параметрите μ и μ_N могат да бъдат представени във вида

$$\mu = \aleph^2 \tilde{R}o \exp(-\lambda_u) \mu_*, \quad \mu_* = C_d^{1/2} S; \quad (26)$$

$$\mu_N = \tilde{R}o \exp(-\lambda_u) F_{i0}. \quad (27)$$

Освен това, както видяхме по-горе величините C_d и C_t зависят от параметри (20):

$$C_d = C_d(\lambda, \lambda_\theta, R_b, F_{i0}) \quad (28)$$

$$C_t = C_t(\lambda, \lambda_\theta, R_b, F_{i0}). \quad (29)$$

Нека сега разгледаме системата уравнения (21)–(23) за определяне на трите търсени неизвестни величини

$$\frac{G_0}{U_1} = f_g, \quad \frac{\delta\theta}{\Delta\theta} = f_t, \quad \alpha. \quad (30)$$

Съгласно (24)–(29), десните части на (21)–(23), т. е. самите величини (30) зависят и еднозначно се определят от набора параметри

$$\lambda_u, \lambda_\theta, R_b, \tilde{R}o, F_{i0} s, M, \Phi, \quad (31)$$

които представляват по този начин входни параметри за разглежданата задача.

3.2. РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

Процедурата за реализация на разгледания по-горе R_b - R_l метод е следната:

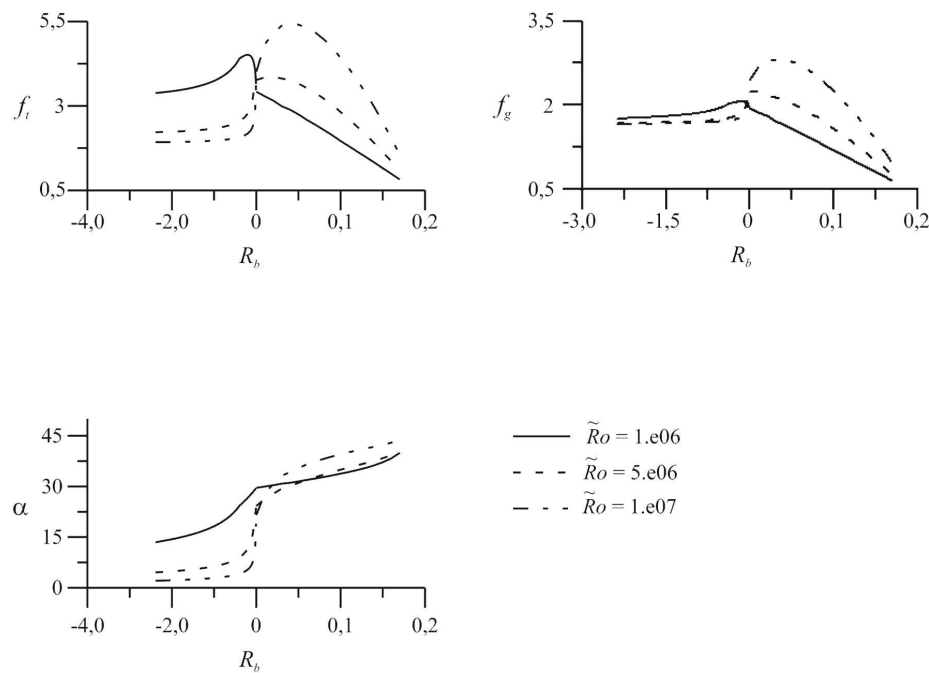
– Задават се входните параметри (31), които характеризират определен турбулентен режим.

– Въз основа на R_b -метода се определят параметрите (28), (29), фигуриращи в десните части на (21)–(23).

– Въз основа на явните изрази за (24), взети, както бе посочено от [9] и отчитане на съотношения (26), (27), A, B, C се изразяват също само чрез входните параметри (31).

– Като краен резултат, десните части на (21)–(23), т. е. самите търсени величини f_g, f_t, α се изразяват еднозначно чрез (31), с което задачата е решена. Естествено, при вариране на входните параметри f_g, f_t, α се оказват функции на променливите (31).

Съответните резултати са показани на фиг. 4–7 (при $z_1 = 10$ m), които ще анализираме накратко.

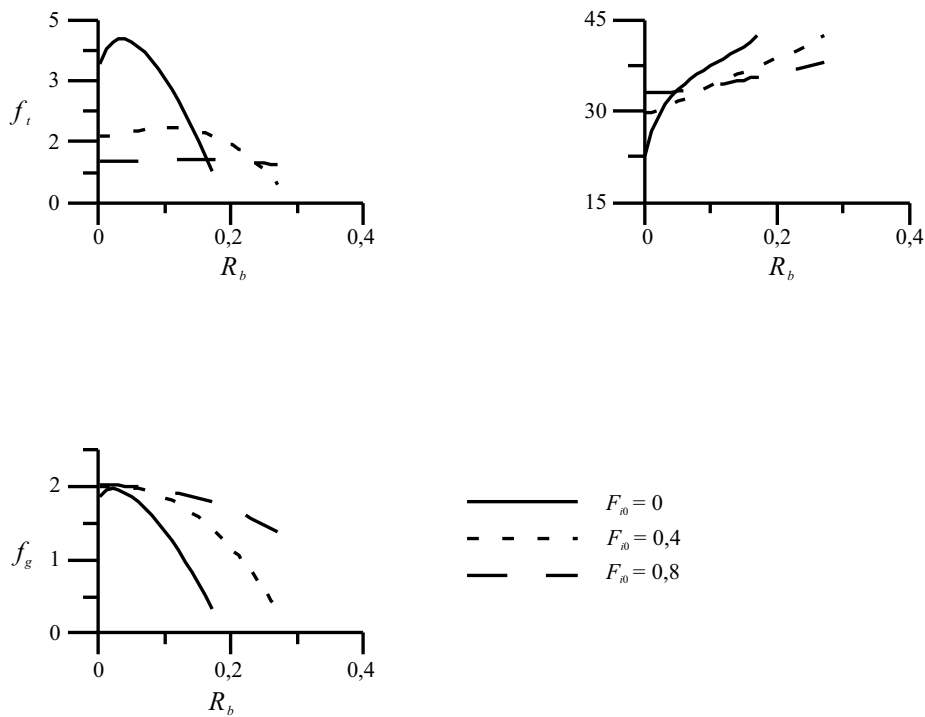


Фиг. 4. Зависимост на величините f_t, f_g, α , от интегралното число на Ричардсон R_b при различни стойности на параметъра \tilde{R}_0 , характеризиращ влиянието на грапавостта

Ще започнем с баротропен случай ($M = \Phi = 0$) при липса на нелокални ефекти $F_{i0} = 0$. В този случай f_g, f_t, α , зависят единствено от приземните параметри $\lambda_u, \lambda_\theta, R_b, \tilde{R}_0$, т. е. могат да бъдат определени само от приземни измервания. На фиг. 4 са дадени зависимостите на f_g, f_t, α при раз-

лични стойности на \tilde{R}_0 за целия диапазон на изменение на стратификацията $-2.5 \leq R_b \leq R_{bc}$. Величините f_g и f_t имат плавен ход при неустойчива стратификация (леко намаляват с увеличаване на неустойчивостта). При устойчива стратификация ($R_b > 0$) те имат максимум при $R_b \approx 0,05$, след което значително намаляват с ръста на R_b , като при стойности на R_b , близки до R_{bc} , стават дори по-малки от единица. Това съответства на ситуация на нощно струйно течение в ПГС. Ъгълът на пълно завъртане на вятъра α в ПГС е най-малък (няколко градуса) при силна неустойчивост ($R_b < 1$) и нараства с усиливане на устойчивостта, достигайки над 40° при $R_b \rightarrow R_{bc}$.

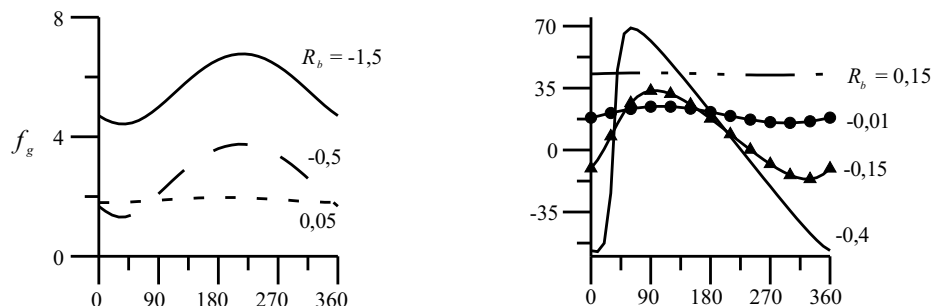
На фиг. 5 се проследява влиянието на нелокалните ефекти ($F_{i0} = 0,4$ и $0,8$) върху f_g , f_t , α , като те са сравнени и със случая, когато не се отчитат ($F_{i0} = 0$). Вижда се, че нелокалните ефекти са значими и отчитането им в параметризационните схеми е наложително.



Фиг. 5. Влияние на нелокалните ефекти, характеризирани се чрез параметъра F_{i0} върху f_t , f_g , α при $\lambda = 7$ за целия диапазон на изменение на R_b : $0 < R_b \leq R_{bc}$. За сравнение е представен и случаят $F_{i0} = 0$ без нелокални ефекти, $\tilde{R}_0 = 2,5 \times 10^6$

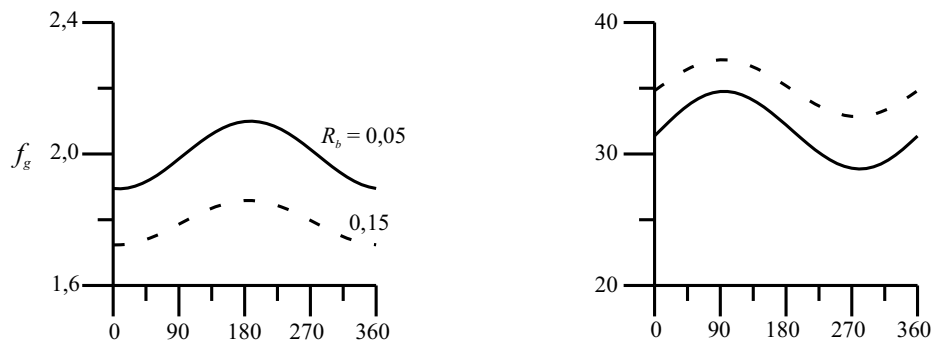
На фиг. 6 се проследява зависимостта на f_g и α от бароклинността, съответно при $M = 10$ и $M = 5$ за целия възможен диапазон на изменение на

ъгъла Φ : $0 \leq \Phi \leq 360^\circ$, при устойчива ($R_b = 0.15$) и неустойчива ($R_b < 0$) стратификация без отчитане на нелокални ефекти ($F_{i0} = 0$).



Фиг. 6. Зависимост на f_g и α от параметрите на бароклинност M и Φ при $\tilde{R}o = 2,5 \cdot 10^6$, $\lambda = 7$ и различни стойности на R_b и $F_{i0} = 0$

Ще отбележим, че фигуриращите в (31) бароклинни параметри са вътрешни. Задачата може да бъде преформулирана и при използване на съответни външни бароклинни параметри. При тази смяна величината остава непроменена, а само ъгълът Φ трябва да се замени с “външния” бароклинен ъгъл Ψ сключен между приземния геострофен и термичния вятър ($\Psi = \alpha + \Phi$).



Фиг. 7. Съвместно влияние на устойчивата стратификация (R_b) и бароклинността ($M = 10$, $0 \leq \Phi \leq 360^\circ$) върху f_g и α при отчитане на интензивни нелокални ефекти ($F_{i0} = 0,8$), $\tilde{R}o = 2,5 \cdot 10^6$, $\lambda = 7$

Най-общият случай на влияние на интензивни нелокални ефекти ($F_{i0} = 0,8$) при бароклинни условия е представен на фиг. 7. От сравнението с фиг.

6 с получената при същите условия, но ($F_{i0} = 0$), се откроява ясно ролята на нелокалните ефекти в чист вид.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на интегралното число на Ричардсон (R_b -метод) са определени редица основни характеристики на взаимодействие на атмосферата със земната повърхност (суша) C_d , C_t , f_g , f_t , S от приземните параметри λ_u , λ_θ , R_b и нелокалния параметър [4] F_{i0} .

Въз основа на комбиниран метод на параметризация (R_b - R_l -метод) са определени основни връзки между ПС и ПГС-височинни характеристики G_0/U_1 , $\delta\theta/\Delta\theta$, α от приземните параметри λ_u , λ_θ , R_b , \tilde{R}_0 и от нелокалните, характеризиращи устойчивостта на свободната атмосфера и бароклинността F_{i0} , M , Φ .

При реализация на R_b - R_l -метода бяха използвани функции A , B , C , базирани се на екманов мащаб. Не представлява трудност отчитането и на функции A , B , C при използване на актуалната височина на ПГС [5, 9].

Както се вижда, особено внимание е отделено на нелокалните ефекти на взаимодействие между (ПС-ПГС) и свободната атмосфера и е показана тяхната значимост.

Получените резултати са насочени към практически задачи по параметризация на числени модели за прогноза на времето, климатични модели, дифузия на замърсители, структура на ПГС и др.

Като бъдеща задача се очертава едно по-нататъшно развитие на методите при отчитане на по-сложни турбулентни режими, както и при процеси на взаимодействие атмосфера-океан.

Изказваме благодарност на професор С. Зилитинкевич за любезно предоставения ръкопис на статия [5], способствала в значителна степен за появата на настоящата работа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Louis, J. F. *Boundary Layer Meteorol.*, **17**, 1979, 187.
2. Сираков, Е. Процеси на термична конвекция, динамика, параметризация и дифузия при различни мащаби и условия в атмосферата с приложение към опазване на околната среда, СУ София, Дисертация д.ф.н., 1990.
3. Yun, D. W. *J. Applied Meteorol.*, **29**, 1990, 652.
4. Zilitinkevich, S. S., V. L. Perov, J. C. King. *Quarterly Journal of the Royal Meteor. Society*, **128**, 2002.
5. Zilitinkevich, S. S., I. N. Esau. Submitted to *Quarterly Journal of the Royal Meteor. Society*, 2004.
6. Zilitinkevich, S. S., P. Calanca. *Quarterly Journal of the Royal Meteor. Society*, **126** 2000, 1913.
7. Uno, I., X.-M. Cai, D. G. Steyn, and S. Emori. *Boundary Layer Meteorol.*, **76**, 1995, 395.

8. Syrakov, E. *Fourth Annual Meeting of the EMS- 5th ECAC, Nice, France, 26-30 Sept. 2004.*
9. Сираков, Е. *Annuaire de L'Universite de Sofia "St. Kl. Ohridski", Faculte de Physique, 98, 2005.*

Евгени Сираков
Софийски университет "Св. Климент Охридски"
Физически факултет
Катедра "Метеорология и геофизика"
Бул. "Джеймс Баучер" 5
1164 София, България
E-mail: esyrakov@phys.uni-sofia.bg

Получена декември 2004 г.