

$$\frac{d v}{d t} = -\Theta_0 \frac{\partial \varphi'}{\partial y} + \lambda \mathcal{G}' \left(\zeta \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial \delta}{\partial y} \right) - l u + F_v + D_v^{xy}, \quad (2)$$

$$\mathcal{G}_0 \frac{\partial \varphi'}{\partial \zeta} = \lambda \mathcal{G}' h, \quad \varphi' = c_p (p' / 1000)^{R/c_p}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial u h}{\partial x} + \frac{\partial v h}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{w} h}{\partial \zeta} = \sigma w h, \quad \sigma = -\frac{1}{\rho} \frac{d \rho}{d z}, \quad (4)$$

$$\frac{d \mathcal{G}'}{d t} + S w = (U - u) \frac{\partial \Theta}{\partial x} + (V - v) \frac{\partial \Theta}{\partial y} + D_g^{xy}, \quad (5)$$

$$w = \zeta \frac{\partial h}{\partial t} + u \left(\zeta \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial \delta}{\partial x} \right) + v \left(\zeta \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial \delta}{\partial y} \right) + \tilde{w} h, \quad (6)$$

$$u = U + u', \quad v = V + v', \quad w = w', \quad \mathcal{G} = \Theta + \mathcal{G}', \quad \varphi = \Phi + \varphi', \quad S = \frac{\partial \Theta}{\partial z},$$

$$\frac{d}{d t} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial}{\partial \zeta}, \quad F_u = -l V + \frac{\partial U}{\partial t}, \quad F_v = l U + \frac{\partial V}{\partial t},$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial x} = \frac{l}{\lambda} \frac{\partial V}{\partial z}, \quad \frac{\partial \Theta}{\partial y} = -\frac{l}{\lambda} \frac{\partial U}{\partial z}.$$

განტოლებებში გამოყენებულია შემდეგი აღნიშვნები:

u , v და w ჰაერის დინების სიჩქარის კომპონენტებია შესაბამისად x , y და z ღერძების გასწვრივ; \tilde{w} არის ვერტიკალური სიჩქარის ანალოგი რელიეფთან დაკავშირებულ სისტემაში; \mathcal{G}' , φ' პოტენციალური ტემპერატურისა და წნევის ანალოგის გადახრებია შესაბამისი Θ , Φ ფონური მნიშვნელობებიდან; ρ ატმოსფეროს სიმკვრივეა; c_p , g , Θ_0 , l ჰაერის კუთრი სითბოტევადობა მუდმივი წნევის დროს, სიმძიმის ძალის აჩქარება, ატმოსფეროს საშუალო პოტენციალური ტემპერატურა და კორიოლისის პარამეტრია; σ პარამეტრია, რომელიც ახასიათებს სიმკვრივის შემცირებას სიმაღლის მიხედვით; U , V ფონური ნაკადის სიჩქარის კომპონენტებია, x და y ღერძების გასწვრივ;

(1) და (2) განტოლებებში შემავალი ფონური სიდიდეების შემცველი წევრები F_u და F_v აღწერენ დიდმასშტაბური სინოპტიკური პროცესების ენერგეტიკულ ზემოქმედებას ლოკალურ პროცესებზე და ისინი შეიძლება განხილულ იქნას როგორც სინოპტიკური პროცესების პარამეტრიზაციის შედეგად მიღებული წევრები [8].

ბოლო წევრები (1), (2) და (5) განტოლების მარჯვენა მხარეში წარმოადგენენ ჰორიზონტალური ტურბულენტური სიბლანტისა და დიფუზიის წევრებს, რომლებსაც შემდეგი სახე აქვთ

$$D_u^{xy} = \frac{\partial}{\partial x} \mu_1 \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_1 \frac{\partial u}{\partial y}, \quad D_v^{xy} = \frac{\partial}{\partial x} \mu_1 \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_1 \frac{\partial v}{\partial y}, \quad D_g^{xy} = \frac{\partial}{\partial x} \mu_2 \frac{\partial \mathcal{G}'}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_2 \frac{\partial \mathcal{G}'}{\partial y}.$$

აქ μ_1 და μ_2 ჰორიზონტალური ტურბულენტური სიბლანტისა და დიფუზიის კოეფიციენტებია, შესაბამისად.

(1) – (6) განტოლებათა სისტემა განიხილება მართკუთხა პარალელებიპედის ფორმის მოცულობაში M ($0 \leq x \leq L_x, 0 \leq y \leq L_y, 0 \leq \zeta \leq 1$) შემდეგი სასაზღვრო პირობების გამოყენებით: დედამიწის ზედაპირზე $\zeta = 0$

$$\tilde{w} = 0 \quad (w = u \frac{\partial \delta}{\partial x} + v \frac{\partial \delta}{\partial y}, z = \delta(x, y)) \quad (7)$$

ტროპოპაუზის სიმაღლეზე $\zeta = 1$

$$\tilde{w} = 0 \quad (w = \frac{\partial H}{\partial t} + u \frac{\partial H}{\partial x} + v \frac{\partial H}{\partial y}, z = \delta(x, y)), \quad \phi' = 0, \quad (8)$$

გვერდით საზღვრებზე

$$\text{როცა } x = 0, L_x \quad \frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial \theta'}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial h}{\partial x} = 0, \quad (9)$$

$$\text{როცა } y = 0, L_y \quad \frac{\partial u}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \theta'}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial h}{\partial y} = 0. \quad (10)$$

მივიღოთ ინტეგრალური ენერგეტიკული განტოლებები. ამ მიზნით (1), (2) და (5) განტოლებები გავამრავლოთ, შესაბამისად uh, vh და $\lambda h \theta' / S$ ზე და ვისარგებლოთ (3), (4) და (6) განტოლებებით. გარდა ამისა, მივიღოთ მხედველობაში, რომ

$$\frac{\partial}{\partial t} (\theta_0 \phi' h) - h \theta_0 \frac{\partial \phi'}{\partial t} + \lambda h \theta' \zeta \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \zeta} \left[\zeta \theta_0 \phi' \frac{\partial h}{\partial t} \right].$$

ზემოთ აღნიშნულის გათვალისწინებით, გარკვეული გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ განტოლებებს, რომლებიც აღწერენ მოძრავ სითხის ელემენტში კინეტიკური და მისავალი პოტენციალური ენერჯიის (available potential energy) ანალოგების ცვლილებას სხვადასხვა ფიზიკური ფაქტორის გავლენით:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial K'_u}{\partial t} + \frac{\partial u K'_u}{\partial x} + \frac{\partial v K'_u}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{w} K'_u}{\partial \zeta} = -\Theta_0 u h \frac{\partial \phi'}{\partial x} + \lambda \theta' u h \left(\zeta \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial \delta}{\partial x} \right) + l u v h + u h F_u + \\ & \frac{\partial K'_v}{\partial t} + \frac{\partial u K'_v}{\partial x} + \frac{\partial v K'_v}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{w} K'_v}{\partial \zeta} = -\Theta_0 u h \frac{\partial \phi'}{\partial y} + \lambda \theta' v h \left(\zeta \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial \delta}{\partial y} \right) - l u v h + v h F_v + \\ & + \sigma w K'_v + v h D_v^{xy}, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial APE'}{\partial t} + \frac{\partial u(APE' + \Theta_0 \phi' h)}{\partial x} + \frac{\partial v(APE' + \Theta_0 \phi' h)}{\partial y} + \frac{\partial [\tilde{w}(APE' + \Theta_0 \phi' h) + \zeta \Theta_0 \phi' \partial h / \partial t]}{\partial \zeta} = \\ & = - \left[-\Theta_0 u h \frac{\partial \phi'}{\partial x} + \lambda \theta' u h \left(\zeta \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial \delta}{\partial x} \right) \right] - \left[-\Theta_0 u h \frac{\partial \phi'}{\partial y} + \lambda \theta' v h \left(\zeta \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial \delta}{\partial y} \right) \right] - \\ & - h \lambda \theta' / S \left[u' \frac{\partial \Theta}{\partial x} + v' \frac{\partial \Theta}{\partial y} \right] + \sigma w A P' + \frac{\lambda h}{S} \theta' D_\theta^{xy}, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\{K_u, K_v\} = l \iiint_M uv h dx dy d\zeta,$$

$$\{K_u, APE\} = \iiint_M uh \left[-\Theta_0 \frac{\partial \phi'}{\partial x} + \lambda \mathcal{G}' \left(\zeta \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial \delta}{\partial x} \right) \right] dx dy d\zeta,$$

$$\{K_v, APE\} = \iiint_M vh \left[-\Theta_0 \frac{\partial \phi'}{\partial y} + \lambda \mathcal{G}' \left(\zeta \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial \delta}{\partial y} \right) \right] dx dy d\zeta,$$

$$\{K_u, E_\phi\} = \iiint_M uh \left(\frac{\partial U}{\partial t} - lV \right) dx dy d\zeta, \quad \{K_v, E_\phi\} = \iiint_M vh \left(\frac{\partial V}{\partial t} + lU \right) dx dy d\zeta,$$

$$\{K_u, E_\sigma\} = \iiint_M \sigma w \frac{hu^2}{2} dx dy d\zeta, \quad \{K_v, E_\sigma\} = \iiint_M \sigma w \frac{hv^2}{2} dx dy d\zeta,$$

$$\{APE, E_\sigma\} = \iiint_M \sigma w \frac{\lambda h \mathcal{G}'^2}{2S} dx dy d\zeta,$$

$$\{K_u, E_{dis}^u\} = - \iiint_M \mu_1 \left(\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right) dx dy d\zeta, \quad \{K_v, E_{dis}^v\} = - \iiint_M \mu_1 \left(\left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right) dx dy d\zeta,$$

$$\{APE, E_{dif}^g\} = - \frac{\lambda}{S} \iiint_M \mu_2 \left(\left(\frac{\partial \mathcal{G}'}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \mathcal{G}'}{\partial y} \right)^2 \right) dx dy d\zeta,$$

$$\{APE, AD\} = \iiint_M \frac{\lambda h \mathcal{G}'}{S} \left[(U - u) \frac{\partial \Theta}{\partial x} + (V - v) \frac{\partial \Theta}{\partial y} \right] dx dy d\zeta.$$

(14)-(16) განტოლებები აღწერენ ენერგეტიკულ გარდაქმნებს ოროგრაფიულად არაერთგვაროვანი ზედაპირის ზემოთ მიმდინარე ლოკალურ ატმოსფერულ პროცესებში. განტოლებათა მარჯვენა ნაწილში მდგომი წევრები წარმოადგენენ კინეტიკური და პოტენციალური ენერგიების ანალოგების ცვლილების სიჩქარეს სხვადასხვა ფიზიკური ფაქტორების გავლენით. ამ წევრებს შეიძლება ასეთი ინტერპრეტაცია მივცეთ:

$$\{K_u, B_x\}, \{K_v, B_x\}, \{APE, B_x\}, \{K_u, B_y\}, \{K_v, B_y\}, \{APE, B_y\}$$

აღწერენ K_u , K_v , APE ენერგიის ანალოგების ნაკადებს x და y საკოორდინატო ღერძების მართობულ გვერდით სასაზღვრო ზედაპირებზე, შესაბამისად. აღვნიშნოთ, რომ $\{APE, B_x\}$ და $\{APE, B_y\}$ ორი შესაკრებისაგან შედგება, რომელთაგან პირველი აღწერს ენერგიის ადვექციურ გადატანას გვერდით საზღვრებზე, ხოლო მეორე - საზღვრებზე წნევის ძალების მიერ შესრულებული მუშაობით გამოწვეულ APE

-ს ცვლილებას. $\{K_u, K_v\}$ წარმოადგენს კორიოლისის ძალით გამოწვეულ გაცვლის სიჩქარეს K_u და K_v -ს შორის; $\{K_u, APE\}$, $\{K_v, APE\}$ - წნევის გრადიენტით გამოწვეული ენერგიების გაცვლის სიჩქარე K_u და K_v -სა და APE შორის; საჭიროა აღინიშნოს, რომ ეს წევრები, გარდა წნევის შემოფოთების ანალოგის გრადიენტისა, შეიცავენ თავისუფალი ზედაპირისა და ოროგრაფიულად არაერთგვაროვანი დედამიწის ზედაპირის ჰორიზონტალურ გრადიენტებს, რაც შედეგია წნევის გრადიენტის ძალის ჩაწერისა რელიეფის მიმყოფ მრუდწირულ კოორდინატთა სისტემაში. $\{K_u, E_\phi\}$, $\{K_v, E_\phi\}$ აღწერენ დიდმასშტაბური ფონური პროცესების ენერგეტიკულ ზემოქმედებას ლოკალურ პროცესზე; $\{APE, AD\}$ გამოხატავს სითბოს ფონური ადვექციის გავლენას ლოკალურ პროცესზე;

$\{K_u, E_{dis}^u\}$, $\{K_v, E_{dis}^v\}$, $\{APE, E_{dis}^g\}$ - ტურბულენტური დისიპაციითა და დიფუზიით გამოწვეული K_u , K_v , და APE ენერგიების ცვლილების სიჩქარე $\{K_u, E_\sigma\}$, $\{K_v, E_\sigma\}$, $\{APE, E_\sigma\}$ ფონური ენერგიის გარკვეული ნაწილის K_u , K_v და APE ენერგიებში გადასვლის სიჩქარეა, რაც გამოწვეულია სიმკვრივის სიმაღლის მიხედვით ცვლილების მხედველობაში მიღებით.

თუ შევკრებთ (14)-(16) განტოლებებს, მივიღებთ ენერგეტიკული ბალანსის განტოლებას სრული ენერგიისათვის

$$E = K_u + K_v + APE = \frac{1}{2} \iiint_M \left(h(u^2 + v^2) + \frac{\lambda h \theta'^2}{S} \right) dx dy d\zeta.$$

ამ განტოლებას ასეთი სახე აქვს

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \{E, B_{xy}\} + \{E, E_\phi\} + \{E, D\}, \quad (17)$$

სადაც

$$\{E, B_{xy}\} = \{K_u, B_x\} + \{K_u, B_y\} + \{K_v, B_x\} + \{K_v, B_y\} + \{APE, B_x\} + \{APE, B_y\},$$

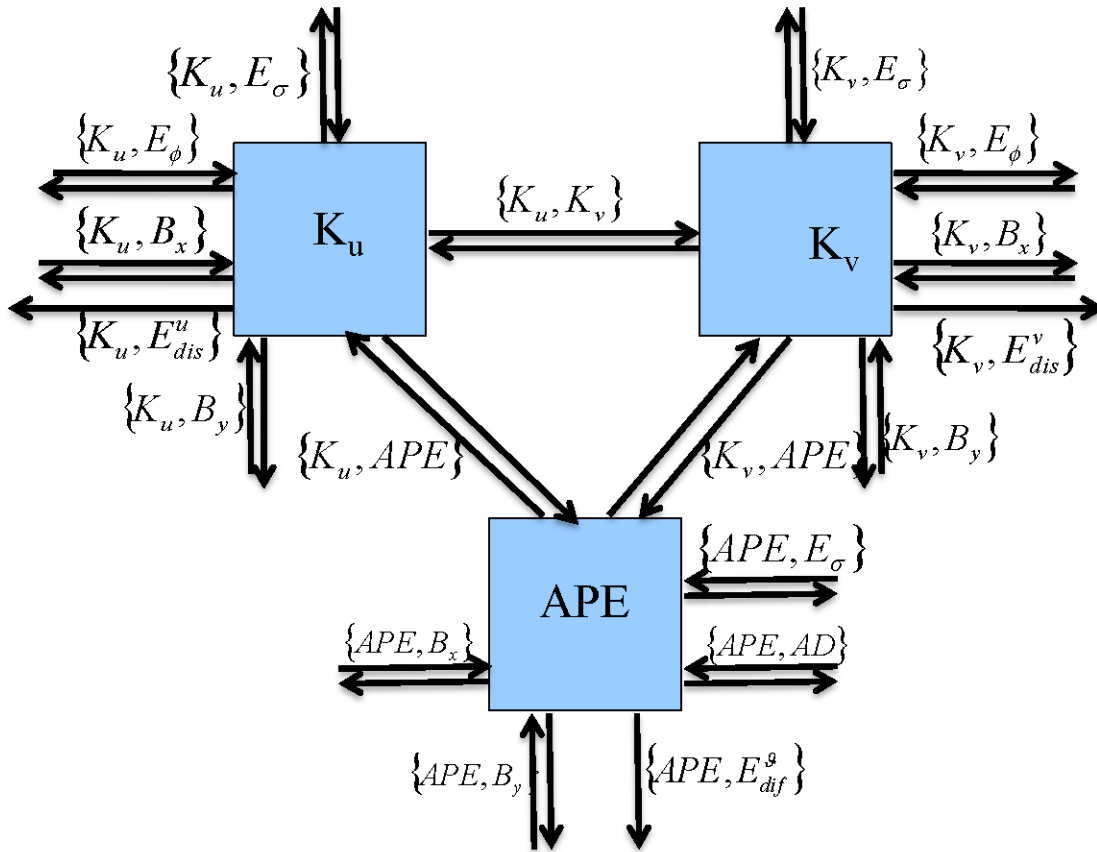
$$\{E, E_\phi\} = \{K_u, E_\phi\} + \{K_v, E_\phi\} + \{APE, AD\} + \{K_u, E_\sigma\} + \{K_v, E_\sigma\} + \{APE, E_\sigma\},$$

$$\{E, D\} = \{K_u, E_{dis}^{xy}\} + \{K_v, E_{dis}^{xy}\} + \{APE, E_{dif}^{xy}\}.$$

(17) - დან ჩანს, რომ სრული ენერგიის ცვლილება გამოყოფილ მოდელირების არეში განპირობებულია შემდეგი ფაქტორების მოქმედებით: 1. ენერგიის შემოდინებით ან გადინებით გამოყოფილი არის შემომსაზღვრელი ზედაპირებიდან; 2. ფონური (სინოპტიკური) ატმოსფერული პროცესების ენერგეტიკული ზემოქმედებით ლოკალურ პროცესებზე; 3. ტურბულენტური სიბლანტითა და დიფუზიით.

(14) – (16) განტოლებების საფუძველზე შესაძლებელია ავარგოთ ზოგადი ენერგეტიკული დიაგრამა, რომელიც თვალსაჩინოდ გვიჩვენებს ენერგეტიკული გარდაქმნების თავისებურებებს მთიანი რელიეფის ზემოთ მოძრავ ჰაერის მასაში (ნახ.1).

ნახ.1-ზე ორმაგი ისრით ნაჩვენებია ენერგეტიკული ბალანსის ის მდგენელები, რომლებსაც შეუძლიათ შეასრულონ წყაროსა ან ანტიწყაროს როლი მეზომასშტაბური პროცესების განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე, ხოლო ერთი ისრით ნაჩვენებია ენერგეტიკული ბალანსის მდგენელები, რომლებიც ასრულებენ მხოლოდ წყაროს ან ანტიწყაროს როლს ლოკალური პროცესის განვითარების მთელ პერიოდში.



ნახ.1. ლოკალურ ატმოსფერულ პროცესებში ენერგეტიკული გარდაქმნების ზოგადი დიაგრამა.

(14)-(16) განტოლებებიდან და ნახ.1-დან ჩანს, რომ მისავალ პოტენციალურ ენერგიასა და კინეტიკურ ენერგიას შორის ენერგიების ურთიერთგაცვლას ორმაგი ხასიათი შეიძლება გააჩნდეს - ლოკალური პროცესების განვითარების გარკვეულ ეტაპზე კინეტიკური ენერგია ივსებს ენერგიის მარაგს მისავალი პოტენციალური ენერგიის ხარჯზე, მაგრამ შესაძლოა კინეტიკური ენერგიის გარკვეული მარაგი გარდაიქმნას მისავალ პოტენციალურ ენერგიად. ასევე, ფონური წნევის გრადიენტის ძალის მუშაობა განაპირობებს ფონური ენერგიის გადასვლას ოროგრაფიულად შემფოთებული მოძრაობის კინეტიკურ ენერგიაში, მაგრამ გარკვეულ სიტუაციებში ენერგიის გადაცემის მიმართულემა შესაძლოა შეიცვალოს საპირისპიროდ. კორიოლისის ძალის ეფექტი გამოიხატება კინეტიკური ენერგიის გადანაწილებაში x და y ღერძების გასწვრივ მოძრაობის მდგენელებს შორის. ტურბულენტური სიბლანტისა და დიფუზიის გავლენა განაპირობებს კინეტიკური და მისავალი პოტენციალური ენერგიების შემცირებას.

დასასრულს, აღვნიშნოთ, რომ მოცემულ სტატიაში მიღებული ენერგეტიკული განტოლებები გამოყენებული იქნება საქართველოს ტერიტორიაზე განვითარებული ატმოსფერული პროცესების ანალიზისათვის სხვადასხვა ფონური სიტუაციების პირობებში.

ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. ჯავახიშვილი შ. ი. ატმოსფერული ნალექები საქართველოს ტერიტორიაზე.ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა.თბილისი,1981,183 გვ.
2. Surmava A. A. The numerical investigation of air motion over Caucasian region in case of background eastern wind. J. Georgian Geoph. Soc., 1999, v.4b, pp.61-72.
3. Кордзадзе А. А., Сурмава А. А., Деметрашвили Д. И., Кухалашвили В. Г. Численное исследование влияния Кавказского рельефа на распределение гидрометеорологических полей. Изв.РАН, Физика атмосферы и океана, 2007, т.43, № 6, с.783-791.

4. დემეტრაშვილი დ. ლოკალური ატმოსფერული პროცესების ჰიდროდინამიკური მოდელირების შესახებ. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები. 2010, ტ. 114, გვ. 119-125.
5. Demetrashvili D., Davitashvili T. A modeling study of mesoscale air flow over the mountainous relief with variable in time large-scale background flow. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, 2013, t. 7, № 2, pp.57-65.
6. Деметрашвили Д. И. Нестационарная задача о мезомасштабных процессах в свободной атмосфере над орографически неоднородной поверхностью Земли. Изв. АН СССР, физика атмосф. и океана, 1979, т. 17, № 7, с. 699-709.
7. Деметрашвили Д. И., Пушистов П. Ю. О влиянии нестационарности фонового потока на движение воздуха над горами в свободной атмосфере. Тр. ЗапСибНИИ, 1980, вып. 46, с.69-79.
8. Гутман Л. Н. Введение в теорию нелинейных мезометеорологических процессов. Ленинград, Гидрометеиздат, 1969, 295 с.

უკ 551.511.33

მეზომასშტაბური ატმოსფერული პროცესების რიცხვითი მოდელის ენერგეტიკული ბალანსის განტოლებათა შესახებ /დ.დემეტრაშვილი/ სტუ-ის ჰმი-ს სამეცნ. რეფ. შრ. კრებ. – 2021 – ტ.131. – გვ.59-66. – ქართ.; რეზ.: ქართ., ინგლ., რუს.

წინამდებარე სტატიაში ატმოსფეროს ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრული სისტემის საფუძველზე ჰიდროსტატიკურ მიახლოებაში შესაბამისი სასაზღვრო პირობების გამოყენებით მიღებულია ენერგეტიკული განტოლებები, რომლებიც აღწერენ ენერგეტიკულ გარდაქმნებს ოროგრაფიულად არაერთგვაროვანი დედამიწის ზედაპირის ზემოთ მოძრავ ჰაერის მასაში. აღნიშნული განტოლებები გამოყენებული იქნება ენერგეტიკული გარდაქმნების შესასწავლად საქართველოს ტერიტორიის ზემოთ განვითარებულ ატმოსფერულ პროცესებში სხვადასხვა სინოპტიკური სიტუაციების პირობებში.

UDC 551.511.3

On the energy balance equations of the numerical model of mesoscale atmospheric processes /D. Demetrashvili/ Scientific Reviewed Proceedings of the IHM, GTU. – 2021. – vol.131. – pp.59-66. –Georg.; Abst.: Georg., Eng., Rus

In this article, on the basis of the complete system of equations of atmosphere hydrothermodynamics in hydrostatic approximation using the appropriate boundary conditions, energy equations are obtained that describe the energy transformations in the air mass moving over the orographically inhomogeneous Earth's surface. These equations will be used to study energy transformations in atmospheric processes developing over the territory of Georgia in different synoptic situations.

УДК 551.511.3

Об уравнениях энергетического баланса численной модели мезомасштабных атмосферных процессов /Д. Деметрашвили / Сб. Трудов ИГМ, ГТУ. - 2021. - вып.131. - с.59-66. - Груз.; Рез. Груз., Англ., Рус.

В данной статье на основе полной системы уравнений гидротермодинамики атмосферы в гидростатическом приближении с использованием соответствующих граничных условий, получены энергетические уравнения, которые описывают энергетические преобразования в воздушной массе, движущейся над орографической неоднородной поверхностью Земли. Эти уравнения будут использованы для изучения энергетических преобразований в атмосферных процессах, развивающихся над территорией Грузии при различных синоптических ситуациях.