

ზ. ხვედელიძე, თ. დავითაშვილი, ი. სამხარაძე.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
 უაკ: 511.509:511.551

ატმოსფეროში მძლავრი შემფოთებების გავრცელების შესწავლა მათემატიკური მოდელებით/

ამოცანის დასმა:

მივიღოთ, რომ მცირე დროში დიდი სიმძლავრის შემფოთების ატმოსფეროში ადვექციური გადაადგილებისას სიჩქარის ველი არის პოტენციალური, ე. ი.

$$\vec{v} = \text{grad}\varphi, \quad (1)$$

სადაც φ არის სიჩქარის პოტენციალი, ხოლო \vec{v} სიჩქარე, თუ შემფოთება ვრცელდება წყაროდან ყველა მიმართულებით, მაშინ Q სიმძლავრის შემფოთებით გამოწვეული ნაკადის სიჩქარე იქნება [1-3]:

$$v = \frac{Q}{4\pi r^2} \quad (2)$$

აქ r არის შემფოთების გავრცელების რადიუსი. ცხადია საწყის მომენტში ნაკადის მოძრაობის სიჩქარე ყველგან ნულია, ხოლო Δt დროის შემდეგ წარმოქმნილ ნაკადს აქვს \vec{v} სიჩქარე. (მაგ. ასეული საარტილერიო ჭურვის ერთდროული აფეთქებისას).

შრომის მიზანია შესწავლილ იქნას დიდი სიმძლავრის შემფოთების ნაკადის წნევის (გეოპოტენციალის) ადვექციური გავრცელება Δt დროში, როცა პროცესი არის გაუწონასწორებელი. (1) და (2)-ს მიხედვით ცხადია:

$$\varphi = -\frac{Q}{4\pi r}, \quad (3)$$

ამოცანის გადაწყვეტისას გამოვიყენოთ ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სისტემა ე. წ. ლამბა-გრომეკოს ფორმით [2-4] და ვისარგებლოთ ლეჟანდრეს ინტეგრალით, რომელსაც აქვს სახე:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{p}{S} + \frac{v^2}{2} = p_\infty, \quad (4)$$

სადაც p -ატმოსფერული წნევაა, ρ - ჰაერის სიკვრივე, p_∞ - წნევა უსასრულობაში, პრაქტიკულად r - მანძილის საზღვარზე, სადაც იგი ნულად ჩაითვლება [1,3].

(4) ფორმულიდან მივიღებთ:

$$\Delta p = p - p_\infty = -\rho \frac{\partial \varphi}{\partial t} - \frac{\rho v^2}{2}, \quad (5)$$

სიდიდეების რიგის შეფასებით გამოდის, რომ (5) განტოლების მეორე წევრი დაახლოებით 10^3 -ჯერ მცირეა პირველთან შედარებით, ამიტომ

$$\Delta p = -\rho \frac{\partial \varphi}{\partial t}. \quad (6)$$

ამოცანის თეორიული გადაწყვეტა:

ეახლა დავუშვათ, რომ შემფოთებული ნაკადი ვრცელდება ბაროტროპულ ატმოსფეროში, სადაც სიჩქარის ბრტყელი დივერგენცია $D = 0$ და $\frac{\partial \varphi}{\partial t}$ სიდიდე შეიძლება განისაზღვროს პროგნოზული განტოლების გამოყენებით [3-7]:

$$\frac{\partial \Omega_z}{\partial t} + u \frac{\partial(\Omega_z + l)}{\partial x} + \frac{\partial(\Omega_z + l)}{\partial y} = 0, \quad (7)$$

სადაც $\Omega_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ სიჩქარის როტორის z მდგენელი; u და v სიჩქარის მდგენელები ox და oy ღერძების გასწვრივ; l - კორიოლისის პარამეტრი, სიჩქარის მდგენელები განისაზღვრება გეოსტროფიულობის პირობით [3-9]:

$$u = -\frac{1}{l} \frac{\partial \varphi}{\partial y}; \quad v = \frac{1}{l} \frac{\partial \varphi}{\partial x}; \quad \text{მაშინ } \Omega = \frac{1}{l} \Delta \varphi, \quad (8)$$

აქ Δ -ლაპლასის ბრტყელი ოპერატორია.

(8) გამოყენებით (7)-დან მივიღებთ:

$$\frac{\partial \Delta \varphi}{\partial t} = \frac{1}{l} \frac{\partial \varphi}{\partial y} \frac{\partial (\frac{1}{l} \Delta \varphi + l)}{\partial x} - \frac{1}{l} \frac{\partial \varphi}{\partial x} \frac{\partial (\frac{1}{l} \Delta \varphi + l)}{\partial y} = \frac{1}{l^2} (\Delta \varphi, \varphi), \quad (9)$$

სადაც l -ცვლილება x და y -ის მიმართ უგულებელყოფილია, ხოლო (A, B) - იაკობიანია [3,7]. ვინაიდან კოორდინატები და დრო დამოუკიდებელი ცვლადებია, ამიტომ შეიძლება (9) ასე გადაიწეროს:

$$\Delta \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{1}{c^2} (\Delta \varphi, \varphi),$$

$\frac{\partial \varphi}{\partial t}$ -ს მიმართ ამოხსნა პოლარულ კოორდინატებში ასე მოიცემა [3-5]:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi R} \int_0^R \ln \frac{R}{r} A_\Omega r dr d\alpha + \frac{1}{2\pi R} \oint \frac{\partial \varphi}{\partial t} ds, \quad (10)$$

გამოთვლებით (10)-ის მეორე წევრი კონტურული ინტეგრალი სიმცირის გამო შეიძლება არ მივიღოთ მხედველობაში [4] და დავწეროთ:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \int_0^R \ln \frac{R}{r} A_\Omega r dr, \quad (11)$$

აქ $\ln \frac{R}{r}$ არის გავლენის ფუნქცია, ხოლო $A_\Omega = \frac{1}{l^2} (\Delta \varphi, \varphi)$ - ჰორიზონტალური ადვექცია, R - შემფოთების მაქსიმალური გავრცელების რადიუსი. მივიღოთ, რომ ადვექცია მთელ R - მანძილზე პროცესის მცირე დროში მოქმედების გამო შეიძლება შეიცვალოს მისი საშუალო მნიშვნელობით, მაშინ:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \overline{A_\Omega} \int_0^R \ln \frac{R}{r} r dr = \frac{R^2}{4} \overline{A_\Omega}. \quad (12)$$

გამოვიყენოთ (3) და (9) ფორმულები და გამოვთვალოთ $\overline{A_\Omega}$ - r -ისა და α -ს სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის. ამასთანავე ლოკალური რელიეფური პირობების გათვალისწინებით (მაგ. ცხინვალის რეგიონი). მივიღოთ $\overline{A_\Omega}$ -ს საანგარიშო ფორმულები სხვადასხვა მიახლოებაში.

1. ადვექცია ვრცელდება მხოლოდ ერთი მიმართულებით, ე.ი. $\overline{A_\Omega} = u \frac{\partial \Omega}{\partial x}$ ანუ

$$\overline{A_\Omega} = -\frac{1}{l^2} \frac{\partial \varphi}{\partial y} \frac{\partial \Delta \varphi}{\partial x}, \quad (13)$$

და $\Delta \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}$, მაშინ

$$\overline{A_\Omega} = -\frac{1}{l^2} \frac{3Q^2}{32\pi^2} \frac{\sin 2\alpha}{r^6}, \quad (14)$$

2. ადვექცია ერთი მიმართულებით მე-13 ფორმულის მიხედვით ვრცელდება და $\Delta \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}$, მაშინ

$$\overline{A_\Omega} = -\frac{1}{l^2} \frac{Q^2}{16\pi^2} \left(\frac{15 \cos^3 \alpha}{r^4} - \frac{9 \sin 2\alpha}{2r^3} \right). \quad (15)$$

3. ადვექცია ვრცელდება სიბრტყეში და განიცდის რელიეფის გავლენას. ამ შემთხვევაში [3-8]

$$\Omega = \frac{1}{\eta} (\Delta \varphi + a \frac{\partial \varphi}{\partial z} + b \frac{\partial \varphi}{\partial y}), \quad (16)$$

სადაც $\eta = \frac{P_z}{P_0}$, P_z - ატმოსფერული წნევის მნიშვნელობა z სიმაღლეზე, P_0 - წნევის სტანდარტული

მნიშვნელობა. $a = -\frac{\partial \ln \eta}{\partial x}$, $b = -\frac{\partial \ln \eta}{\partial y}$ რელიეფის გავლენის მახასიათებელი პარამეტრები პარალელისა და

მერიდიანის გასწვრივ შესაბამისად. შესაბამისი გათვლების ჩატარების შემდეგ მივიღებთ

$$\overline{A_\Omega} = -\frac{1}{l^2 \eta^2} \frac{Q^2}{16\pi^2} \frac{1}{r^5} \left(-\frac{\sin 2\alpha}{2} (a \cos \alpha - b \sin \alpha) + \right. \\ \left. + 3(b \sin^3 \alpha - a \cos^3 \alpha) - (b \cos \alpha - a \sin \alpha) \right) \quad (17)$$

4. შენარჩუნებულია სამივე ვარიანტის პირობები, მხოლოდ ადვექციის განაწილება Ox და Oy ღერძების

მიმართ არათანაბარია. ააქ $r = \sqrt{x^2 + \frac{y^2}{4}}$ ან $r = \sqrt{\frac{x^2}{4} + y^2}$; მაშინ

$$\begin{aligned} \bar{A}_\alpha = & -\frac{1}{l^2 \eta^2} \frac{Q^2}{\pi^2} \frac{1}{r^4} \left(\frac{1,1 \sin 2\alpha (16 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha)}{r^2} - \right. \\ & \frac{21 \sin 2\alpha}{128} + a \frac{\sin \alpha}{64} \frac{1 - \cos^2 \alpha}{r} - \\ & \left. - \frac{21 \sin 2\alpha}{128} + a \frac{\sin \alpha}{64} \frac{1 - \cos^2 \alpha}{r} - \right. \\ & \left. - b \frac{\cos^3 \alpha + 16 \cos \alpha - 4 \sin \alpha}{1024r} - \right. \\ & \left. b \frac{\sin 2\alpha}{512r^2} \right) \end{aligned} \quad (18)$$

თითოეული შემთხვევისათვის გამოითვალა \bar{A}_α , r -ის ორი მნიშვნელობისათვის $r = 500$ მ და $r = 1000$ მ-სათვის, ხოლო α -ს სამი მნიშვნელობისათვის $(\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{3})$, შესაბამისად განისაზღვრა $\frac{\partial \varphi}{\partial t}$ (12)-ე ფორმულით, ხოლო დამატებითი წნევა (6) ფორმულიდან. ასევე შეფასებულ იქნა წარმომადგენელი ნაკადის გავრცელების სიჩქარე პოტენციალის გრადიენტიდან. ყველა ეს პარამეტრები და გამოთვლებით მიღებული სიდიდეები მოყვანილია [10].

მიუხედავად სხვადასხვა დაშვებებისა და გამარტივებისა სტატიაში მოყვანილმა მოდელმა დიდი სიზუსტით აღწერა ის ატმოსფერული პროცესები, რომლებიც განვითარდა საქართველოში 2008 წლის აგვისტოში. მართლაც, მოყვანილი თეორიული მიდგომის პრაქტიკული რეალიზაციის მაგალითია საქართველოს ტერიტორიაზე, კერძოდ ცხინვალის და საჩხერის რეგიონებში წარმოებულ საომარი მოქმედება 2008 წლის 7-10 აგვისტოს. ხანმოკლე ბრძოლებმა საჰაერო და საარტილერიო დაბომბვებით გამოწვეულმა ჰაერის ნაკადის ადვექციის გავრცელებამ გაამართლა თეორიული მოდელის შედეგები. გამოთვლებმა აჩვენა, რომ ორივე მითითებულ რეგიონში საომარმა მოქმედებამ (მცირე დროში) არ გამოიწვია მკვეთრი ცვლილებები- ატმოსფეროში წარმომადგენელი „შეშფოთება“ ვრცელდებოდა მცირე მანძილზე და რელიეფის გავლენა ამ პროცესს ასუსტებდა [10]. საყურადღებოა ნიადაგის ტემპერატურის მატება, რაც ასევე ბუნებრივად და ფიზიკურად გამართლებულად მიგვაჩნია.

რაც შეეხება ამინდის საერთო მდგომარეობას იგი სამდღიანი საომარი მოქმედებებით თითქმის არ შეცვლილა. იყო დასავლეთის შემოჭრის ანტიციკლონური სიტუაცია სუსტი ქარით და ასევე შენარჩუნდა. ამ პერიოდში მხოლოდ ატმოსფერული წნევა განიცდიდა მცირე ლოკალურ გავლენას.

დასკვნები:

მცირე დროში დიდი სიმძლავრით წარმომადგენელი ატმოსფერული შეშფოთება მთა-გორიან ტერიტორიაზე ვრცელდება მცირე მანძილზე. ნაკადის შესუსტება მანძილის მე-5 ხარისხის უკუპროპორციულია;

აღმოჩნდა, რომ მთა-გორიანობის გავრცელების გაზრდით, რელიეფის გავლენა ნაკადის მოძრაობაზე იზრდება, მაგრამ გავლენის ხარისხი დამოკიდებულია ქედის მიმართ ჰაერის მოძრაობის მიმართულებაზე;

თუ დედამიწის რელიეფის გავლენა პარალელსა და მერიდიანის გასწვრივ ერთნაირია, მაშინ პოლარული კუთხის მიხედვით შეიმჩნევა შემდეგი: ა) როცა კუთხე $\alpha = \frac{\pi}{3}$, მაშინ ნაკადის მნიშვნელობა დიდია, დაახლოებით

ორჯერ მეტი ვიდრე $\alpha = \frac{\pi}{6}$ -ის შემთხვევაში, ბ) თუ კუთხე $\frac{\pi}{4}$ -ია, მაშინ ადვექცია ნულის ტოლია, ისევე როგორც

რელიეფის გავლენის გარეშე;

როცა რელიეფის სიდიდე ნაკადის მიმართულებით აღემატება, რელიეფის სიდიდეს ნაკადის მართობული მიმართულებით $a > b$, მაშინ ნაკადი იცვლის მიმართულებას α კუთხის ყველა მნიშვნელობისათვის. ნაკადის ინტენსივობა, წნევა და სიჩქარე მანძილისა და კუთხის ზრდით მცირდება;

როცა $a < b$, მაშინ ნაკადის ინტენსივობა და სიჩქარე იზრდება α კუთხის ზრდის მიხედვით; ამინდის პირობები შეშფოთების წარმომადგენელ და მის შემდეგ თითქმის უცვლელია, ადვექციის წყაროდან 5 და მეტ კილომეტრის მანძილზე. მოყვანილი თეორიაც სწორედ იგივეს მოიცავდა, ე.ი. მოდელი ფიზიკურად გამართლებულია. რაც შეეხება ზოგიერთ რაიონში ნიადაგის ტემპერატურის მომატებას (ქ.გორის მიდამოები), იგი გამოწვეულია საომარი მოქმედებების (2008 წლის აგვისტოს მეორე დეკადა) შეწყვეტის შემდეგ წარმოქმნილი ხანძრით.

ლიტერატურა – REFERENCES-ЛИТЕРАТУРА

1. Фабрикант Н.И. “Аэродинамика” Издательство “Наука” 1964.
2. Modeling of Atmospheric Flow Fields. World Scientific, Theoretical Physic, 1996y.

3. ხვედელიძე ზ.ვ. “დინამიკური მეტეოროლოგია” თ.ს.უ. გამომცემლობა. თბილისი 2002წ. გვ. 528
4. Белов П.Н. “Численные методы прогноза погоды” . “Гидрометеоиздат” 1989.
5. Кибель И.А. “Введение в гидродинамические методы краткосрочного прогноза погоды” . М. ГИТТЛ 1973 .
6. Качурин Л.Г. “Физические основы воздействия на атмосферные процессы”. “Гидрометеоиздат” 1973. .
7. Лайхтман Д.Л. “Динамическая метеорология”. “Гидрометеоиздат” 1976.
8. Тихонов А.Н. Самарский А.А. “Уравнения математической физики”. Издательство “ГИТТЛ”. 1953.
9. Z.Khvedelidze, T.Davitashvili, I.Samkharadze “Mathematical Modelling of the hydro-dynamical flows in a narrow canals with compound bottom”, Journal “Ecology and Appliances” Moscow, Russia, No.5, 2007.
10. Davitashvili T., Samkharadze I. Khvedelidze Z., Advective propagation of high power perturbation in the small time in the atmosphere for mountainous territory (in print)

უაკ: 511.509:511.551

ატმოსფეროში მძლავრი შეშფოთებების გავრცელების შესწავლა მათემატიკური მოდელირებით/ზ. ხვედელიძე, თ. დავითაშვილი, ი.სამხარაძე/საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული-2011.-ტ.117.-გვ. 145-148.-ქართ.;რეზ.ქართ.,ინგლ., რუს.

დიდი სიმძლავრის მქონე მოვლენების მოქმედებით, დროის მცირე მონაკვეთში, წარმოქმნილი ჰაერის ნაკადის სივრცესა და დროში გავრცელების შესწავლას უდიდესი თეორიული და განსაკუთრებით პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. როგორც წესი ასეთი მოვლენები ხანმოკლე დროის განმავლობაში ვრცელდება შედარებით მცირე ტერიტორიაზე, მაგრამ შედეგი ხანგრძლივი და მნიშვნელოვანია. განსაკუთრებით საინტერესოა პროცესების ადვექციური გავრცელება მთა-გორიან ტერიტორიაზე. მცირე სიმაღლის ბურცობებიც კი სწრაფად ანელებს ნაკადის მოძრაობის სიჩქარეს და ხშირად უცვლის მას მიმართულებას და აბრუნებს საწინააღმდეგო მხარესაც კი. სწორედ ასეთი რეგიონალური თავისებურება ახასიათებს საქართველოს ცალკეულ რაიონებს, მათ შორის ცხინვალის და საჩხერის რაიონის ტერიტორიას, სადაც 2008 წლის აგვისტოში წარმოებდა საომარი მოქმედება. ამ დროს რეგიონზე განვითარდა სწორედ ისეთი პირობები, რომლის თეორიული დასაბუთება მოყვანილია ამ სტატიაში.

UDC: 511.509:511.551

Investigation of Powerful Disturbances Propagation in the Atmosphere by Mathematical Modeling/Z.Khvedelidze, T. Davitashvili, I. Samkharadze/ Transactions of the Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University. -2011. - т.117. – pp. 145-148. - Russ.; Summ. Georg.; Eng.; Russ.

Study of propagation in the space and time of air flow, generated in the small time by the action of high-power phenomenon, has huge theoretical and especially practical value. As usual, these phenomena propagate during the small time on the relatively small territory, but their results are long and important. Especially interesting is the advective propagation on mountainous territory. Even low height hills slow down the velocity of flow motion and often changes its direction and sometimes even to the opposite direction. Exactly such regional peculiarity is characteristic for some regions of Georgia, among them Tskhinvali and Sachkhere territory, where military actions took place. Then in the region, the conditions are developed, theoretical justification of which, as we think, is given in this article.

УДК: 511.509:511.551

Исследование Распространения в Атмосфере Мощных Возмущений с Помощью Математического Моделирования /З. Хведелидзе, Т.Давиташвили, И.Самхарадзе/Сб. Трудов Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии. –2011. – т.117. – с. 145-148. – Груз.; Рез. Груз., Англ.,Рус.

Исследования распространения в пространстве и во времени воздушных потоков, зараженных под воздействием мощного взрыва, имеет огромную теоретическую и особенно практическую ценность. Как обычно, эти явления распространяются в течение маленького времени на относительно маленькой территории, но их результаты опасны. Особенно интересно адвективное распространение возмущенных потоков над гористой территории. Даже низкие холмы замедляют скорость движения потока, и часто изменяют его направление и иногда даже изменяют его направление к противоположному. Такая региональная особенность характеризует некоторые области Грузии, в том числе и территории Цхинвали и Сачхере, где имели место военные действия. В статье приведено теоретическое обоснование ситуации, развившейся над регионом в это период.