

ბ.მიქაშავიძე

ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
 შპს 551.510

მთების გავლენა ატმოსფერული პროცესების დინამიკაზე

ატმოსფერული პროცესების დინამიკაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ადგილმდებარეობის რელიეფი. ამ გავლენის გამო, ერთის მხრივ, ირღვევა ქარის გეოსტროფიულობა, ხოლო მეორეს მხრივ, წარმოიქმნება დამატებითი ვერტიკალური დინებები, განპირობებული მთის კალთებზე ჰაერის მასების სრიალით. ქარზე რელიეფის გავლენის გათვალისწინებისათვის ქარის ჰორიზონტალური მდგენელები წარმოდგენილი გვაქვს შემდეგნაირად [5]:

$$u = -\mu \frac{g}{l} \frac{\partial H}{\partial y} - \mu \frac{g}{l^2} \frac{\partial^2 H}{\partial t \partial x} - \mu^2 \frac{g^2}{l^3} \left(H, \frac{\partial H}{\partial x} \right) - \mu \frac{g^2}{l^3} \frac{\partial H}{\partial x} (H, \mu) - \mu \frac{g}{l^2} \tau \frac{\partial^2 H}{\partial p \partial x}; \quad (1)$$

$$v = \mu \frac{g}{l} \frac{\partial H}{\partial x} - \mu \frac{g}{l^2} \frac{\partial^2 H}{\partial t \partial y} - \mu^2 \frac{g^2}{l^3} \left(H, \frac{\partial H}{\partial y} \right) - \mu \frac{g^2}{l^3} \frac{\partial H}{\partial y} (H, \mu) - \mu \frac{g}{l^2} \tau \frac{\partial^2 H}{\partial p \partial y}, \quad (2)$$

სადაც $\mu=1+(\eta-1)/n$; $\eta=P_0/P_h$; $P_0=1000$ ჰპ-ს - სტანდარტული წნევაა ზღვის დონეზე; $P_h = P_h(x,y)$ - წნევაა მთის ზედაპირზე; $n=1,2,4,8$ შესაბამისად 850, 700, 500 და 300 ჰპ-ს დონეებზე გათვლებისას. დან- არჩენი აღნიშვნები ზოგადად ცნობილია. μ -ს ასეთი სახით წარ-მოდგენა([3]) განპირობებულია იმით, რომ მთების გავლენა ატმოსფერული პროცესების დინამიკაზე სიმაღლის მიხედვით თანდათან მცირდება ისე, რომ კავკასიის პირობებში(მთების საშუალო სიმაღლე 3 კმ-ია) 500 ჰპ-იანი ზედაპირის ზემოთ უმნიშვნელოდ მცირეა.

თუ (1) და (2)-ში დავუშვებთ, რომ $\mu=1$ -ს და უგულვებელვყოფთ ბოლო წევრს(მეოთხე წევრი ხდება 0-ის ტოლი), მივიღებთ იკიბელის ცნობილ მეორე მიახლოებას [2]. ბუნებრივია, ისმება კითხვა, რამდენად აუცილებელია მე-4-ე და მე-5-ე წევრების გათვალისწინება? მით უმეტეს, რომ უგანზომილებო სიდიდეებში წარმოდგენის დროს მე-5-ე წევრის წინ დგას იკიბელის ცნობილი მცირე პარამეტრი კვადრატში, ანუ გამოდის, რომ მე-5-ე წევრი ორი რიგით უფრო დაბალია, ვიდრე პირველი და ერთი რიგით დაბალი, ვიდრე მეორე და მესამე წევრები. მაგრამ, თუ გავითვალისწინებთ, რომ "მსგავსების თეორიის" მოსა-ზრებანი არაა საკმარისი მოძრაობის განტოლებების სხვადასხვა წევრებს შორის თანაფარდობების შეფასებისათვის ასეთი სახის ამოცანები არ შეიძლება გადაწყვეტილი იქნას ფაქტიური მონაცემების საკმაოდ დეტალური ანალიზის გარეშე [1], ცხადი გახდება ამ წევრების გათვალისწინების აუცილებლობა. მართლაც, H-ის ფაქტიური მონაცემებით(1997 წლის იანვარი-ივნისი, 73 შემთხვევა) გამოთვლილი იქნა (1) და (2)-ში შემავალი თითოეული წევრის მაქსიმუმების საშუალო კვადრატული მნიშვნელობები(სკმ) ცალ-ცალკე 850, 700 და 500 ჰპ-იან დონეებზე და საერთო მთელი ფენისათვის(850- - 500 ჰპ). გამოთვლის შედეგად აღმოჩნდა, რომ მაგალითად, 850 ჰპ-ს დონეზე MTS სისტემაში გვაქვს(ფრჩხილებში მოცემულია იგივე სიდიდეები 1.5 - 5.5 კმ-იან ფენაში):

$$O[V(u, v)] \approx 15,4(23.0)$$

$$O\left[\mu \frac{g}{l} \frac{\partial H}{\partial S(x, y)}\right] \approx 1,2 \cdot 10^5 \cdot 14,1 \cdot 10^{-5} \approx 16,9(24.0)$$

$$O\left[\mu \frac{g}{l^2} \frac{\partial^2 H}{\partial t \partial S}\right] \approx 1,2 \cdot 10^9 \cdot 12,8 \cdot 10^{-10} \approx 1,5(2.4)$$

$$O\left[\mu^2 \frac{g^2}{l^3} \left(H, \frac{\partial H}{\partial S}\right)\right] \approx 1,44 \cdot 10^{14} \cdot 4,9 \cdot 10^{-14} \approx 7,1(14.4)$$

$$O\left[\mu \frac{g^2}{l^3} \frac{\partial H}{\partial S}(H, \mu)\right] \approx 1,2 \cdot 10^{14} \cdot 14,1 \cdot 10^{-5} \cdot 12,9 \cdot 10^{-11} \approx 2,2(2.4)$$

$$O\left[\mu \frac{g}{l^2} \tau \frac{\partial^2 H}{\partial p \partial S}\right] \approx 1,2 \cdot 10^9 \cdot 11,6 \cdot 10^{-4} \cdot 5,5 \cdot 10^{-6} \approx 7,7(8.4)$$

როგორც ამ შედეგებიდან ჩანს, ჩვენს მიერ დამატებული წევრების ფაქტიური მნიშვნელობები (2.2(2.4), 7.7(8.4)) და მეორე მიახლოების წევრების ფაქტიური მნიშვნელობები (1.5(2.4), 7.1(14.4)) თითქმის ერთნაირია და ამიტომ აუცილებელია მათი გათვალისწინება.A

უწყვეტობისა და სითბოს მოდინების განტოლებებიდან, (1) და (2)-ის ჩასმით, მიიღება საპროგნოზო განტოლებათა სისტემა [4]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial t} = & -m^2 \mu \frac{g}{l} (H, \Delta H) - \tau \frac{\partial \Delta H}{\partial p} - \left(\frac{\partial \tau}{\partial x} \frac{\partial^2 H}{\partial p \partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} \frac{\partial^2 H}{\partial p \partial y} \right) + \\ & + \frac{l^2}{m^2 \mu g} \frac{\partial \tau}{\partial p} + \frac{1}{\mu} (H, \mu) \left(1 - \frac{m^2 \mu g}{l^2} \Delta H \right) - \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial \mu}{\partial x} \frac{\partial^2 H}{\partial t \partial x} + \frac{\partial \mu}{\partial y} \frac{\partial^2 H}{\partial t \partial y} \right) - \\ & - \frac{2gm^2}{l} \left[\frac{\partial \mu}{\partial x} \left(H, \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial \mu}{\partial y} \left(H, \frac{\partial H}{\partial y} \right) \right] - \frac{gm^2}{l} \left[\frac{\partial H}{\partial x} \frac{\partial (H, \mu)}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial y} \frac{\partial (H, \mu)}{\partial y} \right]; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \tau = & \left\{ \mu \frac{gm^2}{l^2} \left[\left(\frac{\partial^2 H}{\partial p \partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 H}{\partial p \partial y} \right)^2 \right] - \frac{\alpha RT_1}{gp^2} \right\}^{-1} \left\{ \frac{\partial^2 H}{\partial p \partial t} + \mu \frac{gm^2}{l} \left(H, \frac{\partial H}{\partial p} \right) - \right. \\ & - \mu \frac{gm^2}{l^2} \frac{\partial^2 H}{\partial p \partial x} \left[\frac{\partial^2 H}{\partial t \partial x} + \mu \frac{gm^2}{l} \left(H, \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{gm^2}{l} \frac{\partial H}{\partial x} (H, \mu) \right] - \\ & \left. - \mu \frac{gm^2}{l^2} \frac{\partial^2 H}{\partial p \partial y} \left[\frac{\partial^2 H}{\partial t \partial y} + \mu \frac{gm^2}{l} \left(H, \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{gm^2}{l} \frac{\partial H}{\partial y} (H, \mu) \right] \right\}; \end{aligned} \quad (4)$$

(3) და (4) განტოლებებს $\partial H / \partial t$ -სა და τ -ს მიმართ ვხსნით შემდეგი სასაზღვრო პირობებით:

1. ატმოსფეროს ზედა საზღვარზე არ ხდება ჰაერის გადინება, ანუ $\tau = -\rho g w \rightarrow 0$ როცა $p \rightarrow 0$;
2. მთის ზედაპირთან ადგილი აქვს ჰაერის მასების მთის კალთებზე სრიალს, ანუ

$$\tau_h = - \frac{g P_h}{RT_h} \left(u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} \right), \quad \text{როცა,} \quad \mathbf{p} = \mathbf{P}_h \quad (5)$$

სადაც u და v მოცემულია (1) და (2) გამოსახულებებით, ხოლო $h = h(x, y)$ – მთის ზედაპირის განტოლებაა;

3. ამოცანის ამოხსნის არის საზღვარზე, ამოხსნის მთლიანი დროის განმავლობაში, ცნობილია H გეოპოტენციალის მნიშვნელობა.

სისტემა (3)-(4)-ის ამოხსნა ხდება შემდეგი თანმიმდევრობით;

1. პირველ დროით ბიჯზე განტოლება (3)-ის მარჯვენა მხარეში რჩება მხოლოდ პირველი წევრი, რომელიც მინიმუმ ერთი რიგით მაინც უფრო მაღალია, ვიდრე სხვა წევრები და განისაზღვრება $(\partial H / \partial t)_1$ პირველი მიახლოებით (ქვედა ინდექსებით აღნიშნულია მიახლოების ნომრები);

2. $(\partial H / \partial t)_1$ -ის გამოყენებით განისაზღვრება (4) განტოლებიდან τ_1 .

3. $(\partial H / \partial t)_1$ -სა და τ_1 -ის გამოყენებით სრული (3) განტოლებიდან განისაზღვრება $(\partial H / \partial t)_2$, ხოლო შემდეგ, ამ უკანასკნელის გამოყენებით (4) განტოლებიდან - τ_2 .

დროით მეორე და შემდეგ ბიჯებზე $(\partial H / \partial t)_1$ -ისა და τ_1 -ის ნაცვლად გამოიყენება წინა დროითი ბიჯის $(\partial H / \partial t)_2$ და τ_2 .

დიფერენციალურ გამოსახულებათა სასრულ სხვაობებში ჩაწერის დროს წარმოებულები ჰორიზონტალური კოორდინატებით (x, y) შეცვლილია ცენტრალური სხვაობებით. ვერტიკალური კოორდინატით (p) წარმოებულები გამოთვლილია შემდეგნაირად:

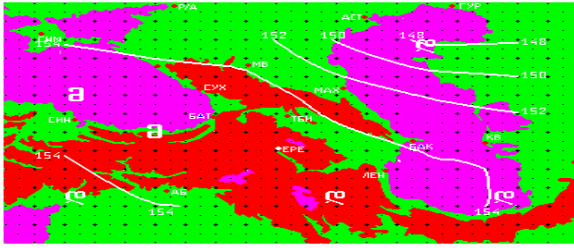
$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial p} \Big|_{850} &= (f_{700} - f_{850}) / (70 - 85); & \frac{\partial f}{\partial p} \Big|_{700} &= (f_{500} - f_{850}) / (50 - 85); \\ \frac{\partial f}{\partial p} \Big|_{500} &= (f_{500} - f_{700}) / (50 - 70), \end{aligned}$$

ხოლო τ -ს შემთხვევაში $\partial \tau / \partial p \Big|_{850} = (\tau_{700} - \tau_h) / (70 - P_h)$, სადაც τ_h განსაზღვრულია ქვედა სასაზღვრო (5) პირობით და მასში შემავალი u და v -ს გამოთვლა ხდება (1) და (2) გამოსახულებებით 850 ჰპ-ის დონეზე. ასეთი დაშვება გამართლებულია, რადგან სათვლელი ზადის 280 კვანძიდან 245 კვანძში $P_h \leq 850$ ჰპ-ზე.

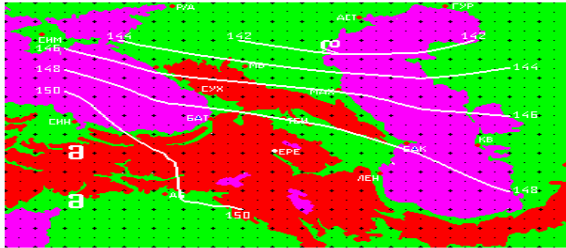
პროგნოზის თვლის დროს საწყის მონაცემებად გამოიყენება გეოპოტენციალის მნიშვნელობები 850, 700 და 500 ჰპ-იან დონეებზე ზადის 22 x 28 კვანძში, ბიჯით 100 კმ. ამოხსნა მიიღება ზადის ცენტრალურ 10 x 16 კვანძში. ამოხსნის არის გარე საზღვრის 6-6 რიგში, ოთხივე მხრიდან, გამოიყენება ცვლადი სასაზღვრო პირობები. დროითი ბიჯი $\Delta t = 1800$ წმ-ს.

24 საათიანი პროგნოზის გათვლას პერსონალურ კომპიუტერ-ზე (სიხშირით 100 მეგაჰერცი და მეტი) ჭირდება საშუალოდ 3 წუთზე ნაკლები. პროგნოზების შეფასება ხდებოდა ზადის ცენტრალური ნაწილის, ერთმანეთისაგან 300 კმ-ით დაშორებულ, 4 x 6 წერტილში.

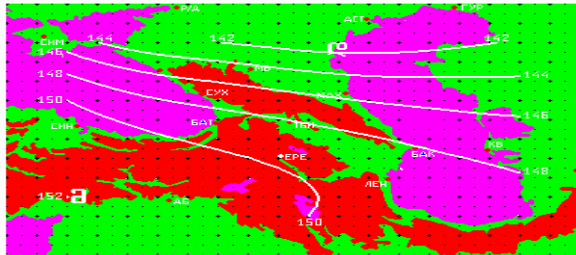
ნახ.1-4-ზე მოცემულია ატ-850-ის 24 საათიანი პროგნოზის მაგალითი 24.01.97 წლის 03 საათის მონაცემებით (ნახ.1). ამ პროგნოზის შეფასების შედეგები მოცემულია ცხრ.1-ის ზედა ნაწილში, სადაც \mathcal{E} -პროგნოზის ფარდობითი ცდომილებაა; kk -პროგნოზირებულ და ფაქტიურ ცვლილებებს შორის კორელაციის კოეფიციენტი; df – მთელ ველზე (4 x 6) გეოპოტენციალის ფაქტიური ცვლილების საშუალოა გეოპოტენციალურ დეკამეტრებში (გპდ).



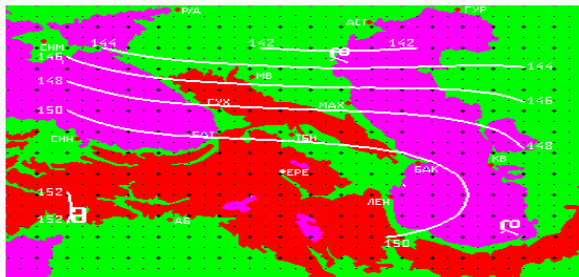
ნახ. 1. საწყისი ველი, 24.01.97, 03 სთ.



ნახ. 2. ფაქტიური ველი, 25.01.97, 03 სთ.



ნახ. 3. პროგნოზირებული ველი ოროგრაფიის გავლენის გათვალისწინებით



ნახ. 4. პროგნოზირებული ველი ოროგრაფიის გავლენის გათვალისწინების გარეშე

ცხრილი 1. ცვლადი სასაზღვრო პირობებით გეოპოტენციალის 24 საათიანი პროგნოზის შეფასების შედეგები

პროგნოზების რაოდენობა	დონე	რელიეფის გავლენის				df
		გათვალისწინებით		გათვალისწინების გარეშე		
		ε	kk	ε	kk	
1, (24.01.77)	850	0.06	0.98	0.15	0.95	6.1
	700	0.16	0.97	0.20	0.96	6.3
	500	0.19	0.98	0.21	0.98	5.6
80	850	0.32	0.95	0.36	0.84	2.8
	700	0.33	0.86	0.34	0.86	2.8
	500	0.28	0.90	0.29	0.90	4.1

ამ დღეს 850 მმ-არზე გეოპოტენციალის ცვლილება იყო არაჩვეულებრივად დიდი – საშუალოდ მთელ ველზე 6.1 გპდ. დაეცა წნევა ასტრახანთან 9, სიმფეროპოლში 8, თბილისსა და ბაქოში 6 გპდ-თი და ა.შ. მიუხედავად ასეთი დიდი ცვლილებისა, პროგნოზირებული ველი(ნახ.3) კარგად ემთხვევა ფაქტიურ ველს (ნახ.2) - $\varepsilon = 0.06$ და $kk=0.98$ -ს. ნახ.4-ზე შედარებისთვის მოცემულია იგივე პროგნოზი ოროგრაფიის გავლენის გათვალისწინების გარეშე ($\mu=1$). არც ეს პროგნოზია ცუდი ($\varepsilon = 0.15$, $kk=0.95$), მაგრამ ნაკლებად ზუსტია, ვიდრე ოროგრაფიის გავლენის გათვალისწინებით. აღსანიშნავია, რომ ყველაზე დიდი განსხვავება შეიმჩნევა სწორედ კავკასიის მთებით დაფარულ ტერიტორიებზე, რაც კარგად ჩანს ნახ.3,4-ზე 146, 148 და 150 გპდ-იანი იზოჰიფსების შედარებიდან.

როგორც ცხრ.1-დან ჩანს, მოყვანილ მაგალითში ფარდობითი ცდომილება (ε) ოროგრაფიის გავლენის გათვალისწინებით გაუმჯობესდა 2.5-ჯერ(0.15:0.06) 850 ჰპ-ზე, 25(0.20:0.16) და 11(0.21:0.19) პრო-ცენტით შესაბამისად 700 და 500 ჰპ-ზე.

ცხრ.1-ის ქვედა ნაწილში მოცემულია 1997 წლის იანვარ-ივნისის მონაცემებით გეოპოტენციალის 24 საათიანი 80 პროგნოზის შეფასების საშუალო შედეგები. როგორც ამ შედეგებიდან ჩანს, რელიეფის გავლენის გათვალისწინებით პროგნოზი საგრძნობლად გაუმჯობესდა, განსაკუთრებით 850 ჰპ-იან დონეზე. ε გაუმჯობესდა საშუალოდ 13(0.36:0.32=1.13), 3 %-ით შესაბამისად 850, 700 და 500 ჰპ-ზე. პროგნოზების აღნიშნული გაუმჯობესება მიღწეულია ოროგრაფიის გავლენის გათვალისწინებით, სიმაღლის მიხედვით ცვლადი, μ პარამეტრის შემოტანით და ატმოსფეროს ქვედა საზღვარზე მთის კალთებზე ჰაერის მასების სრიალის პირობით. ამასთან, როგორც საშუალო მონაცემებიდან ჩანს, პროგნოზი 850 და 700 ჰპ-ზე ნაკლებად ზუსტია ($\varepsilon = 0.32$, $kk=0.85$ და $\varepsilon = 0.33$, $kk=0.86$ შესაბამისად), ვიდრე 500 ჰპ-ზე ($\varepsilon = 0.28$, $kk=0.90$). ასეთი შედეგები, ვფიქრობთ განპირობებულია იმით, რომ ფაქტიურად ატმოსფერული პროცესების დინამიკაზე მთების გავლენა ბევრად უფრო რთულია, ვიდრე მას აღწერს სრიალის პირობა. თუ შევძლებთ ამ პირობის ნაწილობრივ დაზუსტებას, თუნდაც ნაკადის პერპენდიკულარულ სიბრტყეში მთების სიმრუდის გათვალისწინებით [5], მაშინ უნდა ვივარაუდოთ, რომ პროგნოზის შედეგები კიდევ უფრო გაუმჯობესდება.

ლიტერატურა– REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Гандин Л.С., Лайхтман Д.Л., Матвеев Л.Т., Юдин М.И., 1955, Основы ди-намической метеорологии Л., Гидрометеиздат, 647 стр.
2. Кибель И.А., 1957, Введение в гидродинамические методы краткосрочного прогноза погоды, М., ГИТТЛ, 375 стр.
3. Микашавидзе Б.А., 1967, Расчет вертикальных токов на разных уровнях атмосферы с учетом влияния орографии. Труды ЗакНИГМИ, вып. 24(30), Л. Гидрометеиздат, стр.67-87.
4. Микашавидзе Б.А., Чоговадзе И.В., Кварацхелия Д.П., 1982, Опыт региональных численных прогнозов метеорологических элементов в условиях Кавказа, Труды ЗакНИГМИ, вып. 75(81), Л. Гидрометеиздат, стр.82-90.
5. მიქაშავიძე ბ., 1996, ამინდის პროგნოზის ამოცანებში რელიეფის გავლენის გათვალისწინების ზოგიერთი თავისებურებანი. საქ. მეც.აკად. ჰმი-ის შრომები, ტ. 101, გვ. 38-43.

შპპ 551.510

მთების გავლენა ატმოსფერული პროცესების დინამიკაზე, /ბ.მიქაშავიძე/, ჰმი-ს შრომათა კრებული –2007-ტ.114,-გვ. – ქართ. რეზ. ქართ ინგლ. რუს.

განხილულია საკითხი მთების გავლენის გათვალისწინებისა ქარის სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელების გამოსათვლელ გამოსახულებათა დაზუსტების აუცილებლობისა და მართებულობის შესახებ. მოცემულია სათანადო საპროგნოზო განტოლებათა სისტემა. რელიეფის გავლენის გათვალისწინებით და გაუთვალისწინებლად გათვლილი 80 პროგნოზის შეფასების საშუალო შედეგები და პროგნოზის მაგალითი. ცხრ. 1, ილ. 4, ლიტ.დას. 5.

UDC 551.510

Influence of Mountains on the Dynamics of Atmospheric Processes, /B.A.Mikashavidze/, Transactions of the Institute of Hydrometeorology of Georgian Academy of Science, 2007- V 114, -p. ., -Georg.:Summ.Georg.Eng..Russ.

In the article the question on necessity and legitimacy for accuracy of expressions to account the horizontal components of wind speed with the purpose to take into account an influence of orography on dynamics of atmospheric processes. A relevant system of prognostic equations, average results of 80 forecasts' calculation taking and not taking into account the influence of orography and an example of forecast are being presented. Tab.1, Fig.4, Ref.5.

УДК 551.510

Влияние гор на динамику атмосферных процессов, /Б.А.Микашавидзе/, Сб. Трудов

Института гидрометеорологии АН Грузии, -2007- т.114, -с. , -Груз., рез. Груз., Англ., Русск.

Рассмотрен вопрос о необходимости и правомерности уточнения выражений для расчета горизонтальных составляющих скорости ветра с целью учета влияния орографии на динамику атмосферных процессов. Приводятся соответствующая система прогностических уравнений, средние результаты расчета 80 прогнозов с учетом и без учета влияния орографии и пример.

