

**ატმოსფეროს თერმოდინამიკური მდგომარეობის ზოგიერთი მახასიათებლის შესწავლა
 ლოკალური კონვექციური პროცესებისთვის**

***სამხარაძე ი., **დავითაშვილი თ.**

**ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, სტუ, თბილისი, საქართველო
 **ილია ვეკუას სახელობის გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტი, თბილისი, საქართველო
 Inga.samkharadze562@ens.tsu.edu.ge*

ანოტაცია. სტატიაში შეისწავლება ლოკალურ ტერიტორიაზე კონვექციური ღრუბლების ფორმირების პროცესში ატმოსფეროს ზოგიერთი თერმოდინამიკური პარამეტრი ატმოსფეროს შემდგომი მდგომარეობის განსაზღვრის მიზნით. კერძოდ აღმოსავლეთ საქართველოს ზოგიერთი რაიონისათვის შესწავლილია არამდგრადობის ენერჯის რიცხვითი მნიშვნელობების ცვლილების ხასიათი, ატმოსფეროს თერმოდინამიკური მდგომარეობა და შესაბამისი ლოკალური კონვექციური პროცესები.

საკვანძო სიტყვები: კონვექცია, თერმოდინამიკა, არამდგრადობა.

შესავალი

ბოლო რამდენიმე წლის განმავლობაში კლიმატის გლობალურმა ცვლილებამ და თანმხლებმა ექსტრემალურმა პროცესებმა მნიშვნელოვანი ზიანი მიაყენა დედამიწის ეკოლოგიურ მდგომარეობასა და მოსახლეობას. ბუნებრივია, საქართველოს ტერიტორიაზეც მნიშვნელოვნად გაიზარდა ექსტრემალური მეტეოროლოგიური პროცესების სიხშირე, რომელთა უმეტესი ნაწილი ლოკალური ხასიათისაა და უმეტესად განპირობებულია საქართველოს რეგიონის გეოგრაფიული მდებარეობითა და ოროგრაფიული თავისებურებებით. აღმოსავლეთ საქართველოსთვის ექსტრემალური მეტეოროლოგიური პროცესებიდან განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ძლიერი სეტყვა და წვიმა. ასეთი ლოკალური პროცესების სიძლიერესა და განვითარების თავისებურებებს ძირითადად განსაზღვრავს ატმოსფეროს სტრატეფიკაცია. ამიტომ ამ პროცესების განხილვის დროს მნიშვნელოვანია ლოკალურ ტერიტორიაზე ატმოსფეროს თერმოდინამიკური მდგომარეობისა და შესაბამისად სტრატეფიკაციის შეფასება[1,2].

თუ ჰაერის ნაწილაკის მასა არის $\rho_{parcel}V$, მაშინ მისი აჩქარება გამოისახება ფორმულით [3,4]:

$$a = \frac{F}{m} = -\frac{g\Delta\rho V}{\rho_{parcel}V} = -\frac{g\Delta\rho}{\rho_{parcel}},$$

სადაც $\Delta\rho$ არის აირის ნაწილაკისა და გარემომცველი გარემოს სიმკვრივეთა სხვაობა, შესაბამისად. ამ უკანასკნელი ტოლობიდან გვექნება:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_{parcel}} = \frac{\rho_{parcel} - \rho_{env}}{\rho_{parcel}} = -\left(\frac{T_{v,parcel} - T_{v,env}}{T_{v,env}}\right) \tag{1}$$

სადაც T_v არის ჰაერის ვირტუალური ტემპერატურა.

კონვექციურ პროცესებში თუკი ჰაერის ნაწილაკი აიწევს თავისუფალი კონვექციის დონემდე (LFC-მდე), მაშინ (1)-ის თანახმად ერთეულოვანი მასის აირის ნაწილაკის მიერ შესრულებული მუშაობა გამოითვლება შემდეგი ფორმულით [3,4]:

$$\frac{W}{m} = \int_{LFC}^{z_{max}} \frac{F}{m} dz = \int_{LFC}^{z_{max}} a dz = -\int_{LFC}^{z_{max}} g \frac{\Delta\rho}{\rho} dz = \int_{LFC}^{z_{max}} g \frac{T_{parcel} - T_{env}}{T_{env}} dz \equiv CAPE, \tag{2}$$

სადაც Z_{max} არის ატმოსფეროს ფენა, რომლის ზემოთაც გარემოს ტემპერატურა მეტია ნაწილაკის ტემპერატურაზე და ძლიერი კონვექციის დროს იგი ახლოს არის ტროპოპაუზის სიმაღლესთან. ეს ენერგია მოცემული (2)-ით ცნობილია, როგორც ატმოსფეროს არამდგრადობის ენერგია (CAPE).

(2) ტოლობა შეიძლება ჩაიწეროს უფრო გამარტივებული სახით. კერძოდ, თუ ჰაერის ნაწილაკს დასაწყისში აქვს ისეთი სიჩქარე, რომ იგი ადის თავისუფალი კონვექციის დონემდე LFC, ხოლო Z_{max} სიმაღლეზე მისი სიჩქარე არის $w(Z_{max})$, მაშინ შეიძლება დავწეროთ შემდეგი ტოლობა:

$$\frac{1}{2}mw^2(z_{LFC}) + W = \frac{1}{2}mw^2(z_{max})$$

თუ ვერტიკალური სიჩქარე LFC-დონეზე არის მცირე და იგი შეგვიძლია უგულებელვყოთ მაშინ:

$$W = \frac{1}{2}mw^2(z_{max}), \text{ ანუ } \frac{W}{m} = \frac{1}{2}w^2(z_{max}) = CAPE$$

შესაბამისად,

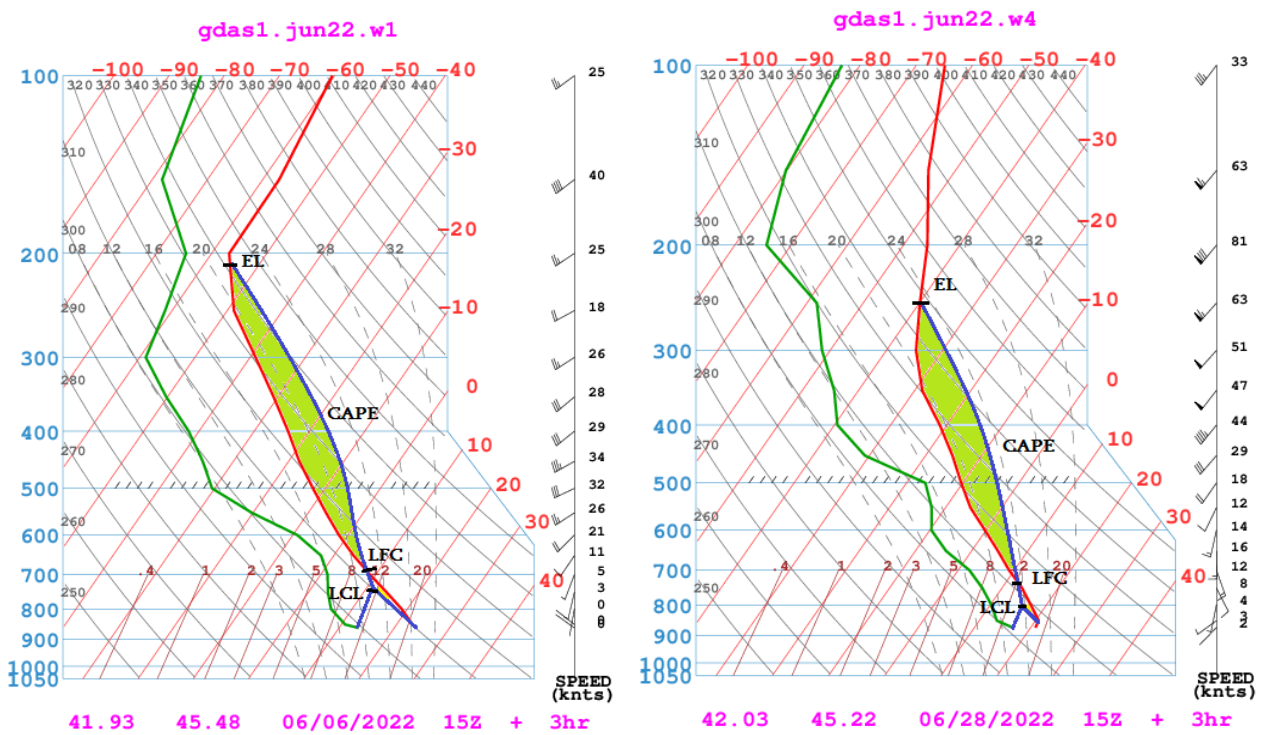
$$w(z_{max}) = \sqrt{2 CAPE}, \quad (3)$$

ფორმულა (3) შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას არამდგრადობის ენერგიისა და მაქსიმალურ სიმაღლეზე ქარის აღმავალი სიჩქარის ურთიერთდამოკიდებულების გათვლებისთვის. თეორიულად ცნობილია, რომ ატმოსფეროს მდგომარეობა არამდგრადობის ენერგიისა და აღმავალი ნაკადის სიჩქარის მიხედვით შესაძლებელია დაიყოს რამდენიმე საფეხურად. კერძოდ, ცხრ.1-ში წარმოდგენილია ატმოსფეროს მდგომარეობის კლასიფიკაცია არამდგრადობის ენერგიისა და აღმავალი ჰაერის ნაკადის სიჩქარის შესაბამისი რიცხვითი მნიშვნელობების მიხედვით. როგორც ცხრ.1-დან ჩანს, როცა არამდგრადობის ენერგია $CAPE > 0$ ჯ/კგ, ატმოსფეროს მდგომარეობა ხდება არასტაბილური, ხოლო $CAPE > 1000$ ჯ/კგ დროს, ატმოსფეროს მდგომარეობა იცვლება შესაბამისად საშუალო არასტაბილურობიდან ექსტრემალურამდე. წარმოდგენილ სტატიაში ჩვენს მიერ განხილული დღეებისათვის $CAPE > 1000$ ჯ/კგ.

ცხრილი 1. ატმოსფეროს კონვექციური მდგომარეობის კლასიფიკაცია არამდგრადობის ენერგიისა (CAPE) და აღმავალი ჰაერის ნაკადის ვერტიკალური სიჩქარის მიხედვით (W_{zm}).

CAPE (ჯ/კგ)	აღმავალი ნაკადის სიჩქარე (მ/წმ)	კონვექციური მდგომარეობა
0	0	სტაბილური
0-1000	0-43	ოდნავ არასტაბილური
1000-2500	43-70	ზომიერად არასტაბილური
2500-3600	70-84	ძალიან არასტაბილური
3600 +	>84	უკიდურესად არასტაბილური

ნახ.1-ზე წარმოდგენილია აეროლოგიური დიაგრამები თელავისა და ახმეტის რაიონებისათვის (2022 წლის 6 და 28 ივნისი, 15 UTC)



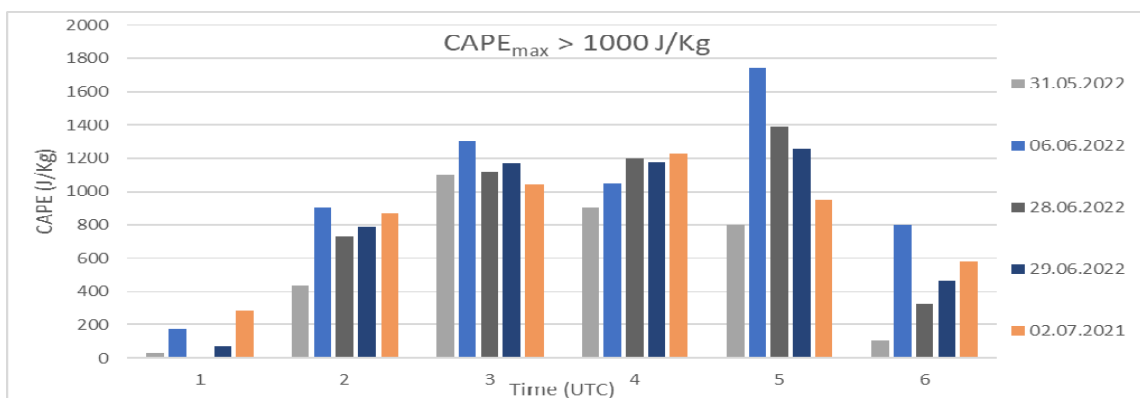
ნახ. 1. აეროლოგიური დიაგრამა. (ა)- თელავი 2022 წლის 6 ივნისი (15 UTC),
 ბ) -ახმეტა 2022 წლის 28 ივნისი (15 UTC)).

ნახ.1-ში წითელი მრუდი გვიჩვენებს ატმოსფეროში ტემპერატურის ვერტიკალური განაწილების სურათს, მწვანე კი ნამის წერტილის ვერტიკალურ განაწილებას. წარმოდგენილ დიაგრამებზე ჩვენს მიერ აგებულია ნაწილაკის მდგომარეობის მრუდი (ლურჯი ფერით), რომლის მდებარეობაც განსაზღვრავს არამდგრადობის ენერჯის მნიშვნელობას და შესაბამისად ადგილობრივი კონვექციური პროცესების სიძლიერეს. მწვანე ფიგურის ფართობი (LFC და EL დონეებს შორის) არის სწორედ არამდგრადობის ენერჯის მნიშვნელობა. კახეთის მეტეოროლოგიური რადარის მონაცემების მიხედვით აღნიშნული დღეებისათვის აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე ადგილი ჰქონდა ძლიერი კონვექციური ღრუბლების ფორმირებას.

გარდა ამისა ჩვენს მიერ დამატებით შეირჩა ისეთი დღეები, როდესაც აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე მოვიდა ძლიერი ნალექი (სეტყვა, წვიმა). არჩეული დღეებისათვის არამდგრადობის ენერჯის მაქსიმალური მნიშვნელობები $CAPE > 1000$ ჯ/კგ (ცხრ.2). ცხრ.2.-ში წარმოდგენილია აღმოსავლეთ საქართველოს ზოგიერთ რეგიონში 2021-22 წლებში განვითარებული საშიში მეტეოროლოგიური პროცესების დროს არამდგრადობის ენერჯის ($CAPE > 1000$ ჯ/კგ) რიცხვითი მნიშვნელობები და შესაბამისი აღმავალი ნაკადის სიჩქარეები EL დონეზე, ხოლო ნახ.1-ზე წარმოდგენილია ცხრილის მონაცემების შესაბამისი გრაფიკული გამოსახულება. როგორც ნახ. 1-დან ჩანს 2021-22 წლებში განვითარებული საშიში მეტეოროლოგიური პროცესების დროს არამდგრადობის ენერჯის ($CAPE > 1000$ ჯ/კგ) რიცხვითი მნიშვნელობები იზრდება და მაქსიმალურია 09 UTC და 15 UTC დროის შუალედში, ადგილობრივი დროით ეს დაახლოებით 13-19 საათია, სწორედ ამ დროს მაღალია ნიადაგის ტემპერატურა და ხელსაყრელი დროა ადგილობრივი კონვექციური ღრუბლების ჩამოყალიბებისთვის[5,6].

ცხრილი 2. აღმოსავლეთ საქართველოს ზოგიერთ რაიონში 2021-22 წლებში განვითარებული საშიში მეტეოროლოგიური პროცესების დროს არამდგრადობის ენერჯისა (CAPE > 1000 J/Kg) და აღმავალი ჰაერის ნაკადის ვერტიკალური სიჩქარის რიცხვითი მნიშვნელობები (W_{zm}).

დღე	ადგილი	CAPE 00 UTC	CAPE 06 UTC	CAPE 09 UTC	CAPE 12 UTC	CAPE 15 UTC	CAPE 18 UTC	W_{zm} m/sec
31.05.2022	41.93, 45.48	30	437	1100	900	800	104	46
06.06.2022	41.93, 45.48	174	900	1300	1050	1740	800	59
13.06.2022	41.93, 45.48	0	600	1100	970	710	77	46
28.06.2022	42.03, 45.22	3	730	1120	1200	1390	323	53
29.06.2022	41.93, 45.48	70	790	1170	1180	1260	464	50
02.07.2021	42.03, 45.22	288	873	1040	1225	950	580	49



ნახ. 1. არამდგრადობის ენერჯის ცვლილება დროის მიხედვით (CAPE > 1000 J/Kg).

ცხრ.2-ში წარმოდგენილი არამდგრადობის ენერჯის (CAPE) მნიშვნელობები შეესაბამება ნახ. 1,2 -ზე წარმოდგენილ LFC და EL დონეებს შორის მწვანე ფიგურის ფართობს. წარმოდგენილი დღეებისათვის (31.05.22, 06.06.22, 13.06.22, 28.06.22, 29.06.22, 02.07.21) აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე შემოვიდა დასავლეთის ცივი ატმოსფერული ფრონტი, თითქმის ექვსივე დღის შემთხვევაში შემოსული ფრონტი გაძლიერდა ადგილობრივი კონვექციის გზით ატმოსფეროს სტრატოფიკაციის შესაბამისად და მნიშვნელოვანი ზიანი მოუტანა აღმოსავლეთ საქართველოს სასოფლო-სამეურნეო კულტურებს.

დასკვნა

მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე შესაძლებელია ვთქვათ, რომ ლოკალურ ტერიტორიაზე ექსტრემალური ატმოსფერული პროცესების პროგნოზირების დროს (წვიმა, სეტყვა), დიდი მნიშვნელობა აქვს ატმოსფეროს თერმოდინამიკური მდგომარეობის შეფასებას (ამ კონკრეტულ შემთხვევაში არამდგრადობის ენერჯის) და შესაბამისი აღმავალი ნაკადის ვერტიკალური სიჩქარის მნიშვნელობების დადგენას, განსაკუთრებით 09 UTC-15 UTC დროის შუალედში, როდესაც მაღალია ნიადაგის ტემპერატურა და ხელსაყრელი დროა ადგილობრივი კონვექციური ღრუბლების ჩამოყალიბებისთვის.

მაღლიერება: კვლევა განხორციელდა „შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით [FR-22-18445]“

ლიტერატურა

[1] Hernandez E., Diaz J. Analysis of the atmosphere behavior in the proximities of an orographic obstacle. // Nonlinear Processes in Geophysics. 2, 1995, pp. 30-48.
 [2] Robert A., Houze Jr. Orographic effects on precipitating Clouds, 2012.

- [3] Rolph G., Stein Ar., Stunder B. Real-time Environmental Applications and Displays System: READY. // Environmental Modelling & Software, 95, 2017, pp. 210-228. www.elsevier.com/locate/envsoft
- [4] Blanchard D.O. Assessing the Vertical Distribution of Convective Available Potential Energy. // American Meteorological Society. NOAA/National Severe Storms Laboratory, Boulder, Colorado, 1998, pp. 870-877. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1998\)013<0870:ATVDOC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1998)013<0870:ATVDOC>2.0.CO;2)
- [5] Davitashvili T., Samkharadze I., Sharikadze M. Modeling of Extreme Events and Regional Climate Variability on the Territory of the Caucasus (Georgia). // In: Jaiani G., Natroshvili D. (eds) Applications of Mathematics and Informatics in Natural Sciences and Engineering. AMINSE 2019. Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, vol. 334, 2020, pp. 61-82. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56356-1_5
- [6] Davitashvili T., Samkharadze I., Megreladze L., Kvatadze R. Using modern technology to protect vineyards from hail amid climate change. // E3S Web of Conferences, 2020, https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/10/e3sconf_icies2020_000-34/e3sconf_icies2020_00034

STUDY OF SOME CHARACTERISTICS OF THE THERMODYNAMIC STATE OF THE ATMOSPHERE FOR LOCAL CONVECTION PROCESSES

*Samkharadze I., **Davitashvili T.

**Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia*

*** Ilia Vekua Institute of Applied Mathematics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
Inga.samkharadze562@ens.tsu.edu.ge*

Abstract. The article presents the importance of studying the thermodynamic state of the atmosphere during the formation of convective clouds in the local area. Numerical values of the energy of instability for some regions of Eastern Georgia are given and the change of its numerical values during the day is determined.

Key words: convection, thermodynamics, instability.