

ლოკალური ატმოსფერული პროცესების განვითარების დინამიკა და ატმოსფეროს თერმოდინამიკური მდგომარეობა

სამხარაძე ი., დავითაშვილი თ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ი.ვეკუას გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტი

ანოტაცია. სტატიაში განხილულია ლოკალური ატმოსფერული პროცესების განვითარების დინამიკა ARL READY-ის ატმოსფეროს თერმოდინამიკური მდგომარეობის მახასიათებლებზე და კახეთის მეტეოროლოგიური რადარით მიღებულ რეალურ მონაცემთა ურთიერთშედარების ანალიზზე. შესწავლილ იქნა ის შემთხვევები როდესაც აღმოსავლეთ საქართველოში ადგილი ჰქონდა საშიშ მეტეოროლოგიურ მოვლენებს (თავსხმა წვიმა, სეტყვა) 2015-18 წლებში. აღმოჩნდა, რომ ყველა შესწავლილ შემთხვევისთვის ARL READY სისტემის არამდგრადობის ენერჯის მახასიათებელი CAPE-ის რიცხვითი მნიშვნელობები იყო მაქსიმალური 09:00-15:00 UTC დროის შუალედში, როცა ნიადაგის მაღალი ტემპერატურის გამო ხელსაყრელი პირობები იქმნებოდა კონვექციური პროცესების განვითარებისთვის. საკვანძო სიტყვები: არამდგრადობის ენერჯია, თავსხმა წვიმა, სეტყვა.

შესავალი. ბოლო ათწლეულის განმავლობაში საქართველოს ტერიტორიაზე მნიშვნელოვნად გახშირდა ექსტრემალური მეტეოროლოგიური მოვლენები (თავსხმა წვიმები, სეტყვა, ძლიერი ქარები). ასეთი ატმოსფერული მოვლენების ძირითადი ნაწილი ლოკალური ხასიათისაა და ძირითადად დაკავშირებულია ჰაერის მასების კონვექციურ მოძრაობასთან. ამიტომ ატმოსფეროს ფიზიკის დღის წესრიგში დგება საკითხი ყოველი კონკრეტულ ტერიტორიისათვის შევისწავლოთ ატმოსფეროს თერმოდინამიკური მდგომარეობა და დავადგინოთ ატმოსფეროს არასტაბილურობის ხარისხი (Позднякова, 2010). კვლევებმა აჩვენეს, რომ რთული ოროგრაფიის გავლენა ატმოსფერულ პროცესებზე დაკავშირებულია თერმული და დინამიკური პარამეტრების განაწილებაზე, რაც იწვევს ჰაერის მასების არათანაბრობას ოროგრაფიის გასწვრივ, რის შედეგადაც ადგილი აქვს სხვადასხვა სახის ღრუბლების წარმოქმნას (Hernandez & Diaz, 1995).

READY სისტემის მონაცემები და მეთოდები. მთაგორიან რეგიონებში ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესების ჩამოყალიბებაში მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს ჰაერის მასების ვერტიკალურ მოძრაობას. რთული ოროგრაფიის მქონე ტერიტორიებზე, რელიეფის გავლენით ძლიერდება ჰაერის მასების კონვექცია რაც იწვევს ძლიერი კონვექციური ღრუბლების ფორმირებას (Robert, 2011). მოსალოდნელი K კონვექციური პროცესების ხარისხის შესაფასებლად საჭიროა შესწავლილ იქნას ატმოსფეროს თერმოდინამიკური მდგომარეობა და დადგენილ იქნას ატმოსფეროს არამდგრადობის ხარისხი. ატმოსფეროს არამდგრადობის ხარისხის შესაფასებლად საჭიროა ატმოსფეროს ვერტიკალური სტრუქტურის შესწავლა. დღესდღეობით რადიოზონდის ფუნქციონირება გარკვეულ ფინანსურ ხარჯებთანაა დაკავშირებული და მისი გამოყენება ზოგიერთ განვითარებად ქვეყანებში თითქმის აღარ ხდება. ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესების ეფექტური და დროული პროგნოზირებისათვის NOAA-ს ARL-ის მიერ

შეიქმნა სისტემა READY (Rolph at al., 2017; Stein at al., 2015). ატმოსფეროს თერმოდინამიკური მდგრადობის ანალიზისათვის გამოვიყენეთ ნაწილაკის მეთოდი, სადაც ატმოსფეროს მდგომარეობის მაჩვენებელს წარმოადგენს ჰაერის ინდივიდუალური ნაწილაკის ყოფაქცევა (Blanchard at al., 1998).

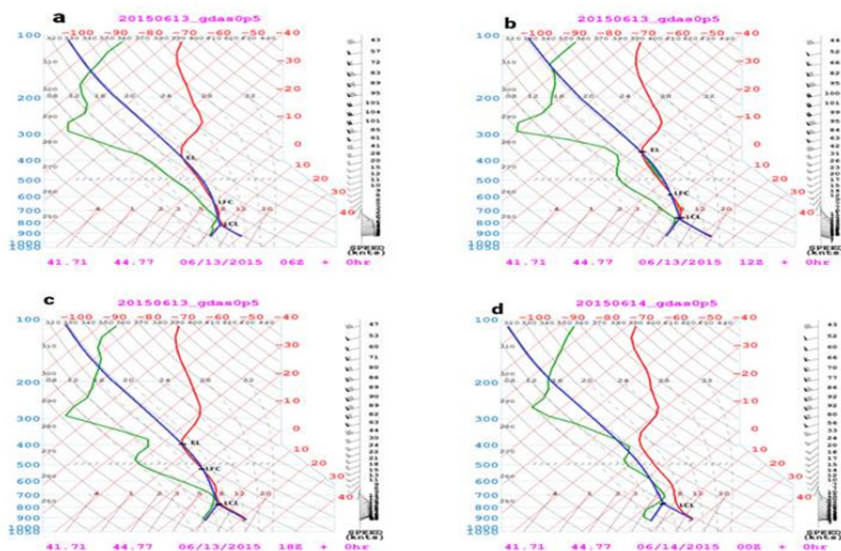
როცა ჰაერის ნაწილაკი აიწევს თავისუფალი კონვექციის დონემდე (*LFC-მდე*), ერთეულ-ლოვანი მასის აირის ნაწილაკის მიერ შესრულებული მუშაობა გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$\frac{W}{m} = \int_{LFC}^{z_{max}} \frac{F}{m} dz = \int_{LFC}^{z_{max}} a dz = - \int_{LFC}^{z_{max}} g \frac{\Delta \rho}{\rho} dz = \int_{LFC}^{z_{max}} g \frac{T_{parcel} - T_{env}}{T_{env}} dz \equiv CAPE, \quad (1)$$

ეს ენერგია ცნობილია, როგორც ატმოსფეროს არამდგრადობის ენერგია (CAPE). z_{max} ატმოსფეროს ფენა, რომლის ზემოთაც გარემოს ტემპერატურა მეტია ნაწილაკის ტემპერატურაზე.

შედეგების შეფასება. READY სისტემის აეროლოგიური დიაგრამებით შევასვეთ რამდენიმე დღის ატმოსფეროს თერმოდინამიკური მდგომარეობა, არჩეულ დღეებში აღმოსავლეთ საქართველოს უმეტეს რაიონებში დაფიქსირებული იყო ძლიერი ნალექი (Davitashvili at al., 2020).

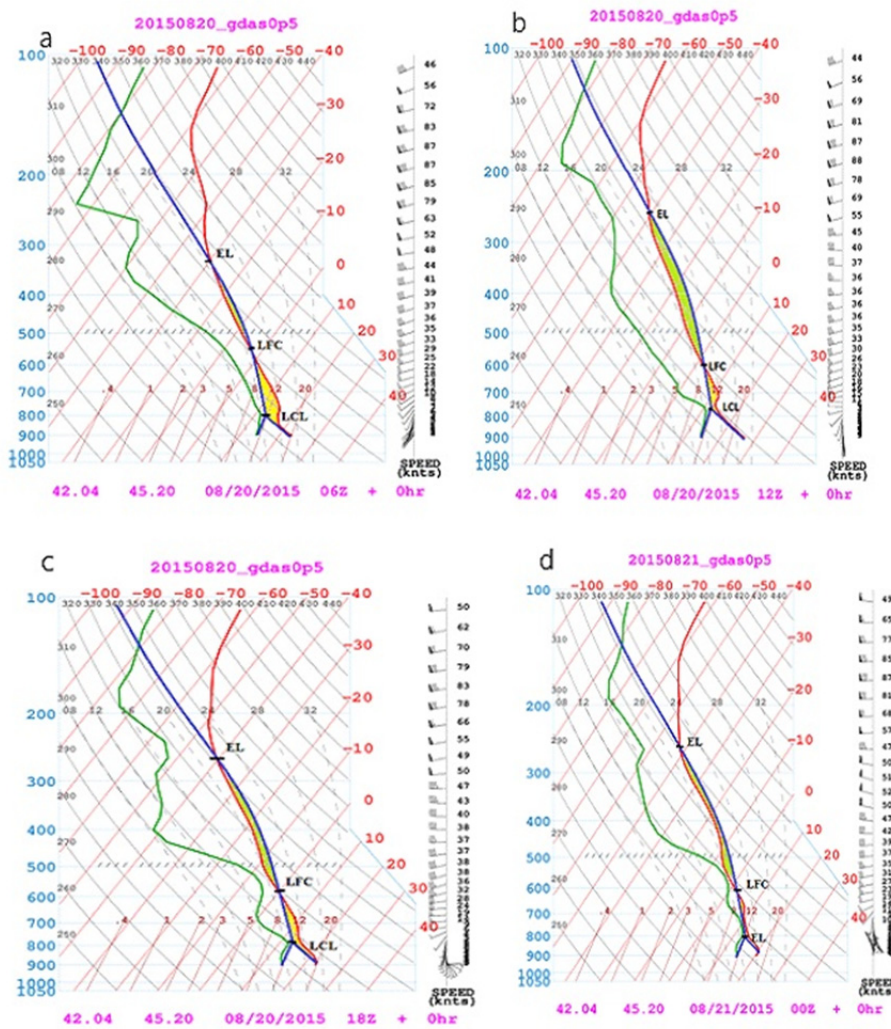
ნახ.1-ზე წარმოდგენილია 2015 წლის 13 ივნისის აეროლოგიური დიაგრამები თბილისის ზოოპარკის ტერიტორიისათვის (გეოგრაფიული კოორდინატებით 41°.71' N, 44°.77' E) დროის სხვადასხვა მომენტისთვის (13 ივნისის a-06 UTC, b-12 UTC, c-18 UTC, d-14 ივნისის 00 UTC). ატმოსფეროს თერმული მდგომარეობის შესაფასებლად თითოეულ სურათზე, ლურჯი უწყვეტი წირით გამოსახულია ჩვენს მიერ აგებული მდგომარეობის მრუდები. როგორც ნახ.1-დან ჩანს 12 UTC დროისთვის პროგნოზული ატმოსფეროს არამდგრადობის ენერგიის მნიშვნელობა (CAPE) აღმოჩნდა მაქსიმალური ხოლო კონვექციური ჩახშობის ენერგია (CIN) მინიმალური. რადარის მონაცემების მიხედვით კი ღრუბლის მაქსიმალური სიძლიერე დაფიქსირდა უფრო გვიან 18 UTC დროისათვის, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ 13 ივნისს განვითარებული ატმოსფერული პროცესი არ უკავშირდებოდა ფრონტის გავლას, ეს პროცესი იყო სუფთა ლოკალური ხასიათის, არამდგრადი სტრატოფიკაციის პირობებში მოხდა თბილი ჰაერის მასების ვერტიკალური აღმასვლა (კონვექცია), რის შედეგადაც განვითარდა ძლიერი კონვექციური ღრუბელი, რომელიც არსებობდა მხოლოდ რამდენიმე წუთის განმავლობაში.



ნახ.1. 2015 წლის 13 ივნისის აეროლოგიური დიაგრამები.

2015 წლის 20-21 აგვისტოს სინოპტიკური რუკების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ დასავლეთიდან შემოსული ატმოსფერული ფრონტი კიდევ უფრო გაძლიერდა საქართველოს

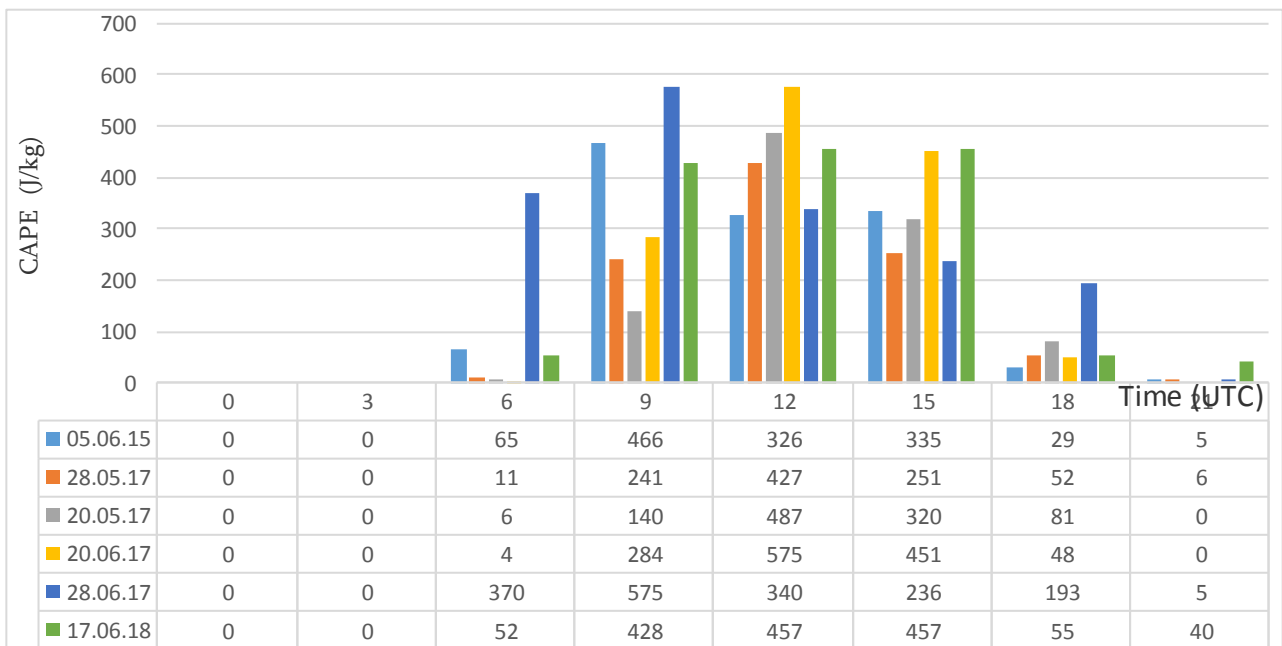
ტერიტორიის ჩრდილო-აღმოსავლეთ საზღვარზე. რაც აიხსნება როგორც კავკასიონის არა-ერთგვაროვანი რელიეფის გავლენით, ასევე შიდა მასიური პროცესების განვითარებით, რის შედეგადაც აღმოსავლეთ საქართველოს ზოგიერთ რაიონში (ახმეტა, ყვარელი, ლაგოდეხი) განვითარდა კონვექციური ღრუბლები. აღნიშნულ რეგიონებში ძლიერი სეტყვისა და თავსხმა წვიმის შედეგად დაზარალდა სასოფლო სამეურნეო პროდუქტები. Noaa-ს ARL Ready სისტემის საშუალებით ჩვენ შევამოწმეთ 2015 წლის 20-21 აგვისტოს ატმოსფეროს თერმოდინამიკური მდგომარეობა აღმოსავლეთ საქართველოს ზოგიერთ რაიონისთვის (ახმეტა, ყვარელი, ლაგოდეხი), კერძოდ იმ გეოგრაფიული კოორდინატებისათვის სადაც კახეთის მეტეოროლოგიური რადარის მონაცემების მიხედვით ადგილი ჰქონდა ფრონტალურ პროცესებს. ნახ.2b-ზე მოცემულია ატმოსფეროს თერმოდინამიკური მდგომარეობა 2015 წლის 20 აგვისტოს 12 UTC (თბილისის დროით 16:00 საათისათვის). როგორც სურათიდან ჩანს არამდგრადობის ენერგია 06 UTC დროსთან შედარებით გაზრდილია, ხოლო კონვექტიური ჩახშობის ენერგია შემცირებულია. ზოგადად შეიძლება ვთქვათ, რომ მთელი დღის განმავლობაში (2015 წლის 20 აგვისტოს) გვაქვს სუსტი არამდგრადობა, თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ არამდგრადობის ენერგია CAPE ყველაზე დიდია 12 UTC დროისათვის.



ნახ. 2. 2015 წლის 20 აგვისტოს აეროლოგიური დიაგრამები.

მიღებული შედეგების შესამოწმებლად ზემოთ განხილული შემთხვევების გარდა მეტეოროლოგიური რადარის მონაცემებით დამატებით შევარჩიეთ 2015-2018 წლებში აღმოსავლეთ საქართველოს ზოგიერთ რაიონში განვითარებული საშიში მეტეოროლოგიური პროცესების

ექვსი შემთხვევა. შერჩეული პროცესების დროს აღმოსავლეთ საქართველოს ზოგიერთ რაიონში ძლიერი წვიმისა და სეტყვისაგან მნიშვნელოვნად დაზარალდა საქართველოს მოსახლეობა, დაიტბორა სახლები, განადგურდა სასოფლო-სამეურნეო პროდუქტები. აქ განხილულია მხოლოდ ლოკალური ხასიათის ატმოსფერული პროცესების არამდგრადობის ენერჯის რიცხვითი მნიშვნელობები დროის 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 U UTC მომენტებისთვის (ნახ.3). როგორც ნახ.3-დან ჩანს განხილული 6 დღისთვის არამდგრადობის ენერჯის მაქსიმალური მნიშვნელობა დაფიქსირდა 09-15 UTC დროის შუალედში. განხილული შემთხვევებისათვის აეროლოგიურმა დიაგრამებმა ზუსტად აჩვენეს ატმოსფეროს არამდგრადობა ლოკალურ ტერიტორიაზე, მიუხედავად იმისა, რომ არამდგრადობის ხარისხი ყველა განხილულ შემთხვევაში იყო განსხვავებული, ეს განსხვავება ზუსტად შეესაბამებოდა კონკრეტული დღის რეალურ მეტეოროლოგიურ მდგომარეობას (მეტეოროლოგიური რადარის მონაცემების მიხედვით). ამავე დროს აღსანიშნავია, რომ განხილული ლოკალური მეტეოროლოგიური პროცესებისათვის არამდგრადობის ენერჯის (CAPE) ყველაზე კარგი ინდიკატორი არის 09-15 UTC დროის შუალედისათვის (როდესაც არამდგრადობის ენერჯის მნიშვნელობა ყველაზე დიდია). რადგან ამ დროს დედამიწის ზედაპირის ტემპერატურა მაქსიმალურია და ყველაზე ხელსაყრელი დროა ლოკალური კონვექციური პროცესების განვითარებისათვის.



ნახ.3. განხილული დღეებისათვის არამდგრადობის ენერჯის რიცხვითი მნიშვნელობების ცვლილება დროის მიხედვით.

ლიტერატურა

1. Позднякова В.А. (2010) ПРАКТИЧЕСКАЯ АВИАЦИОННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ. Составила преподаватель Уральского УТЦ ГА . г. Екатеринбург, 113.
2. Hernandez E & Diaz J. Analysis of the atmosphere behavior in the proximities of an orographic obstacle”//Nonlinear Processes in Geophysics. 1995, 2, pp. 30-48.
3. Robert A., Houze Jr. Orographic effects on precipitating Clouds, 2012.

4. Rolph G., Stein Ar., Stunder B. Real-time Environmental Applications and Display sYstem//READY. Environmental Modelling & Software. 2017, 95. pp. 210-228. www.elsevier.com/locate/envsoft.
5. Blanchard D.O. Assessing the Vertical Distribution of Convective Available Potential Energy//American Meteorological Society. 1998, pp. 870-877. NOAA/National Severe Storms Laboratory, Boulder, Colorado. [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)
6. 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, 2020, vol 334. pp. 61-82, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56356-1_5
7. Davitashvili T, Samkharadze I, Megreladze L, Kvatadze R. Using modern technology to protect vineyards from hail amid climate change//2020, E3S Web of Conferences. [https:// www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/10/e3sconf_icies2020_00034/e3sconf_icies2020_00034](https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/10/e3sconf_icies2020_00034/e3sconf_icies2020_00034)

DEVELOPMENT DYNAMICS OF LOCAL ATMOSPHERIC PROCESSES AND THERMODYNAMIC STATE OF THE ATMOSPHERE

*Samkharadze I., **Davitashvili T.

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

***I.Vekua Institute of Applied Mathematics of Iv. Javakhsishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*

Abstract. *The article discusses the dynamics of the development of local atmospheric processes the thermodynamic state characteristics of the ARL READY atmosphere, and the analysis of mutual comparison of real data obtained with Kakheti meteorological radar. In order to confirm the results obtained, the cases were studied when in Eastern Georgia in 2015-2018 severe weather phenomena (rain, hail) took place. It was found that for all the studied cases, the numerical values of the CAPE characteristic of the energy instability of the ARL READY system were maximum, from 09:00 to 15:00 UTC, when due to the high temperature of the soil, favorable conditions were created for the development of convection processes.*

Keywords: *instability energy, pouring rain, hail.*