

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-118-124

უაკ:551.583

## კონვექციური შტორმების პროგნოზირების თანამედროვე მეთოდები და მეზომასშტაბური ფაქტორების როლი

მკურნალიძე ირინე, კაპანაძე ნაილი, მელაძე მაია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი  
mkurnalidze@gmail.com

i.

### რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია კლიმატის გლობალური ცვლილების ფონზე ელქეჟური აქტივობის ზრდის დინამიკა და მისი პროგნოზირების თანამედროვე მეთოდები. სტატიაში მიმოხილულია მსოფლიოს წამყვანი სამეცნიერო ცენტრების (NOAA HWT, NSSL, NWS) მიღწევები ამინდის საშიში მოვლენების პროგნოზირების მიმართულებით. გაანალიზებულია ბრიტანეთის ეკოლოგიისა და ჰიდროლოგიის ცენტრის მასშტაბური კვლევის შედეგები, რომლებიც ადასტურებენ ნიადაგის ტენიანობის კონტრასტებისა და ვერტიკალური ქარის ძვრის (WIND SHEAR) გადამწყვეტ როლს ექსტრემალური შტორმების ინიცირებაში.

ნაშრომში დეტალურადაა განხილული პროგნოზირების სინოპტიკური, რადიოლოკაციური, თანამგზავრული და რიცხვითი მეთოდები. ხაზგასმულია ხელოვნური ინტელექტის (AI) პოტენციური მეზომასშტაბური პროცესების მოდელირებაში. კვლევის პრაქტიკული ნაწილი ეთმობა საქართველოს, როგორც მაღალი ელქეჟური აქტივობის რეგიონს. პუასონის განტოლების გამოყენებით გამოთვლილია ელქეჟების ხდომილების ალბათობები საქართველოს 15 კლიმატური ზონისთვის, რაც ფუნდამენტური ადრეული შეტყობინების სისტემების დახვეწისა და ეკონომიკური ზარალის მინიმიზაციისთვის.

**საკვანძო სიტყვები:** კონვექციური შტორმი, ელქეჟი, ნიადაგის ტენიანობა, მეზომასშტაბური პროცესები, პუასონის განტოლება,

### შესავალი

კლიმატის გლობალურმა ცვლილებამ მნიშვნელოვნად გაზარდა ელქეჟური აქტივობა დედამიწაზე. ეს გარემოება განაპირობებს ელქეჟების პროგნოზირების მეთოდების გაუმჯობესების აუცილებლობას, რაც იძლევა ხალხის და პირუტყვის სიცოცხლის გადარჩენის და ქონების და ინფრასტრუქტურის დაცვის კიდევ უფრო მაღალი ხარისხით უზრუნველყოფის შესაძლებლობას.

WMO-ს მიხედვით 2010-2019 წწ მონაცემებით ელქეჟური პროცესების მიზეზით დაღუპულია 30000 ადამიანი და ეკონომიკური ზარალი 500 მილიარდ დოლარს აღწევს [1].

ამჟამად არსებობს ელქეჟების პროგნოზირების შემდეგი ძირითადი მეთოდები:

- **სინოპტიკური მეთოდი** - გულისხმობს ამინდის რუკების ანალიზს- ატმოსფერული ფრონტების, ციკლონების ადგილმდებარეობის განსაზღვრას და ტემპერატურის და სინოტივის ადვექციის შეფასებას;
- **არამდგრადობის ინდექსები** - გულისხმობს ტემპერატურის და სინოტივის სხვადასხვა სიმალეებზე გამოთვლას აეროლოგიური ზონდირებით მიღებული მონაცემებით. არსებობს გამოთვლის სხვადასხვა ტიპის ინდექსები-ვაიტინგის, ლებედევას, ფაუსტის, შვალტერის და სხვა;
- **რადიოლოკაციური მეთოდი** - გულისხმობს კონვექციური ღრუბლის რეალურ დროში განვითარების მონიტორინგს, რადიოექოს სიმალლის და ამრეკვლადობის მიხედვით;
- **თანამგზავრული მეთოდი** - გულისხმობს თვალყურის დევნებას გროვა-საწვიმარი ღრუბლების ზედსაზღვრის შესაბამის ტემპერატურაზე და (ინფრაწითელი სურათები) და ღრუბლების სტრუქტურაზე - ხილულ დიაპაზონში;
- **რიცხვითი მეთოდები** - გულისხმობს მეტეოპარამეტრების (ელქეჟური ხდომილების ალბათობის ჩართვით) ატმოსფეროს ფიზიკური კანონების საფუძველზე შექმნილ კომპიუტერული მოდელების გამოყენებას.

პროგნოზირების თანამედროვე სისტემები ეფექტურად აფიქსირებენ ფართომასშტაბიან ატმოსფერულ პროცესებს, მაგრამ ცალკეული შტორმის წარმოქმნის ზუსტი ადგილის განსაზღვრა მეზომასშტაბურ დონეზე კვლავ ფუნდამენტურ გამოწვევად რჩება.

### ძირითადი ნაწილი

ბრიტანეთის ეკოლოგიის და ჰიდროლოგიის ცენტრის მეცნიერებმა ჩატარეს უნიკალური კვლევა. შესწავლილ იქნა ისეთი ატმოსფერული პირობების თანამგზავრული სურათები, რომლებმაც გამოიწვია 2,2 მილიონი შტორმი 2004-2024 წწ. პერიოდში სუბსაჰარულ აფრიკაში. აღსანიშნავია, რომ მეცნიერთა მტკიცებით, მსგავსი პრინციპი შესაძლოა გამოყენებულ იქნეს დედამიწის სხვა რეგიონებისათვისაც. კვლევებით გამოავლენილი იქნა ატმოსფეროს დაბალ ფენებში ურთიერთდამოკიდებულება ნიადაგის ტენიანობასა და ქარის გარკვეულ კანონზომიერებებს შორის. ზუსტად ეს ურთიერთდამოკიდებულება ახდენს გავლენას ელქეის წარმოქმნის ადგილმდებარეობაზე, რომელთა მონიტორინგი ხდის წყალმოვარდნების, ძლიერი ქარის და შტორმების ნაადრევ პროგნოზირების შესაძლებლობას [2]. ჩვეულებრივ შტორმები ვითარდება დღის მეორე ნახევარში, როდესაც მიწისა და ატმოსფეროს შორის სითბოს გაცვლა იწვევს ატმოსფეროს არასტაბილურობას. მძლავრი კონვექცია შეიძლება განვითარდეს სულ რამდენიმე ათეულ წუთში. ამ დროს გროვა - საწვიმარი ღრუბელი სწრაფად იზრდება. ღრუბლის შიგნით აღმავალი ნაკადების გავლენით ელვა წარმოქმნება, ხოლო ნალექის აორთქლება ქმნის ძლიერ ქარის ნაკადებს. ძლიერმა წვიმამ შეიძლება გამოიწვიოს მოულოდნელი წყალდიდობები, განსაკუთრებით ქალაქებში, სადაც დრენაჟის სისტემა სუსტია. ყველაზე ექსტრემალური კონვექციური მოვლენები განსაკუთრებით ხშირად ვითარდება ნიადაგის ტენიანობის კონტრასტების ზონებში, ქარის ძვრასთან ურთიერთობის პირობებში. 2.2 მილიონი შემთხვევის გაანალიზების შედეგად სუბსაჰარულ აფრიკაში დადგენილი იქნა, რომ ხელსაყრელ ნიადაგის პირობებში ექსტრემალური შტორმების დაწყება 68%-ით უფრო ხშირია.

ყველაზე ძლიერი ვერტიკალური განვითარება აღინიშნება იქ, სადაც ნიადაგის ტენიანობით გამოწვეული ცირკულაციები ეწინააღმდეგება ქარის მიერ გამოწვეულ ღრუბლების გადაადგილებას. ძლიერი კონვექციისთვის ხელსაყრელი პირობები მოიცავს:

- დაბალი ფენის ჰაერის თერმოდინამიკურ არამდგრადობას;
- ვერტიკალური ქარის ძვრას (ქარის სიჩქარისა და მიმართულების ცვლილება სხვადასხვა სიმაღლეებზე);

კონვექციის დაწყება ხშირად დაკავშირებულია დაბალი ფენის კონვერგენციის ზონებთან, რომლებიც ჰაერს ზემოთ წევს. ეს შეიძლება მოხდეს: ჰაერის მასების საზღვრებზე, შტორმის ნაკადებში, სინოპტიკური მასშტაბის პროცესებში, ან მიწის ზედაპირის თავისებურებების გამო. ქარის ძლიერი ძვრა ზოგჯერ აფერხებს კონვექციის დაწყებას, მაგრამ შემდგომში ხელს უწყობს შტორმის ზრდას, ეს ხდება ჰაერის მოწოდების არასტაბილურობის გამო.

კვლევები აჩვენებს, რომ ტენიანი ნიადაგი ზრდის ჰაერის ტენიანობას, მშრალი ნიადაგი ათბობს ჰაერს. თუმცა, რეალურ პირობებში კონვექცია ხშირად იწყება მშრალი ნიადაგის საზღვარზე, სადაც არსებობს მნიშვნელოვანი ტემპერატურული კონტრასტები. ეს ქმნის ცირკულაციებს, რომლებიც ჰგავს ზღვის ნიავს და იწვევს ჰაერის კონვერგენციას, სადაც იწყება კონვექცია. კვლევა განსაკუთრებულ ყურადღებას ამახვილებს ვერტიკალურ ქარის ძვრაზე, რომელიც განსაზღვრავს, როგორ ვითარდება უკვე დაწყებული შტორმი. დადგენილი იქნა, რომ:

- ქარის ძვრა არამარტო აძლიერებს შტორმებს, არამედ ცვლის მათ მდებარეობას ნიადაგის ტენიანობასთან შესაბამისად;
- ღრუბლები მოძრაობენ შუა ატმოსფერული ფენის ქარის მიმართულებით;
- თუ ეს მიმართულება ეწინააღმდეგება დაბალი ფენის ქარს, ხდება მნიშვნელოვანი ეფექტი.
- ასეთ სიტუაციაში შტორმის წარმოქმნა იწყება მშრალ ზონაში, მაგრამ განვითარება და ინტენსიფიკაცია ხდება სხვა მიმართულებით გადაადგილებისას. ეს ნიშნავს, რომ ნალექის მაქსიმუმი ხშირად არ ემთხვევა კონვექციის საწყის წერტილს.

კვლევის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი შედეგია ის არის, რომ ნიადაგის ტენიანობის კონტრასტებისა და ქარის ძვრის ერთობლივი მოქმედებით შესაძლებელია განისაზღვროს ყველაზე ძლიერი შტორმების წარმოქმნის ადგილი. კერძოდ:

- თუ ქარის ქროლვა სუსტია, ნიადაგის ეფექტი ნაკლებად მნიშვნელოვანია;
- თუ ქარის ქროლვა ძლიერია, ნიადაგის ტენიანობის გავლენა მნიშვნელოვნად იზრდება.

ექსტრემალური შტორმები (ძალიან ძლიერი ნალექით) ყველაზე ხშირად ვითარდება ნიადაგის ტენიანობის მკვეთრი საზღვრების ახლოს და ისეთ პირობებში, სადაც ქარის ძვრა ხელს უწყობს ღრუბლის განვითარებას.

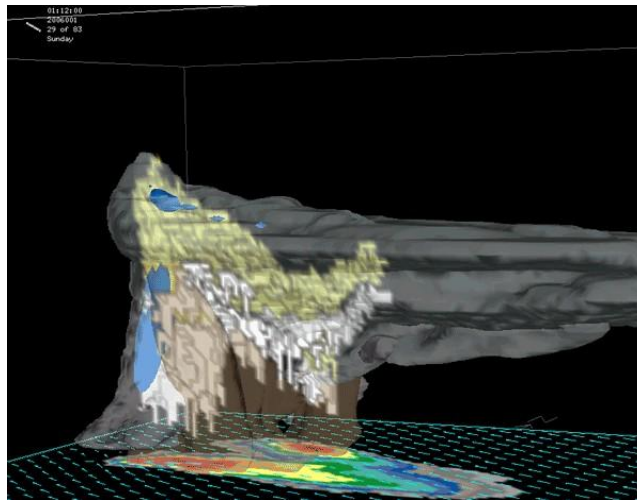
ფიზიკურად პროცესი შეიძლება ასე აიხსნას:

მშრალი ნიადაგი სწრაფად თბება, იქმნება თბილი და მსუბუქი ჰაერი. მეზობელი ტენიანი ზონებიდან ჰაერი გადაადგილდება ამ მიმართულებით, ხდება ჰაერის კონვერგენცია, ჰაერი ადის ზევით, ჩნდება კონვექცია.

შემდეგ ქარის ძვრა აძლიერებს ღრუბლის სტრუქტურას. ღრუბელი გადაადგილდება, ნალექი შეიძლება მოვიდეს უკვე სხვა ადგილზე. კვლევა ადასტურებს, რომ დინამიკური ფაქტორები დომინანტურ როლს ასრულებს კონვექციის წარმოქმნის ადგილის განსაზღვრაში. ქარის ძვრა რადიკალურად ცვლის ხმელეთის და ატმოსფეროს ურთიერთქმედების ხასიათს. თანამედროვე რიცხვითი პროგნოზირების მოდელები ვერ ახერხებენ ამ მეზომასმტაბური პროცესების ადეკვატურ ასახვას, რაც იწვევს მათ დაბალ ეფექტურობას. ხელოვნურ ინტელექტზე დაფუძნებულ მოდელებს აქვთ დიდი პოტენციალი, გაუმჯობესოს პროგნოზები, თუ მათში სწორად იქნება ინტეგრირებული ინფორმაცია ნიადაგის ზედაპირის მდგომარეობის შესახებ.

კვლევის მეთოდები მოიცავს რამდენიმე წყაროდან (ძირითადად თანამგზავრებიდან) მიღებული მონაცემების დამუშავებას. მაგალითად კონვექციების წარმოქმნის იდენტიფიცირება მოხდა MSG სერიის გეოსტაციონარული თანამგზავრის მონაცემებით. ექსტრემალური კონვექციის ინიცირების მოვლენები განსაზღვრულია ღრუბლის გაციების ტემპით  $\leq -78^{\circ}\text{C სთ}^{-1}$  (ზედა 1%), კონვექციური ინიცირების ლოკაციის დადგენა ხდება დაბალი ფენის ატმოსფერული არამდგრადობის პროფილების გამოყენებით. ნიადაგის ტენიანობის მონაცემები მიიღებოდა თანამგზავრ Metop-B-ზე დაყენებული ASCAT ხელსაწყოდან. გამოიყენებოდა ასევე რადიოლოკაციური და მეტეოსადგურების მონაცემები [2-5].

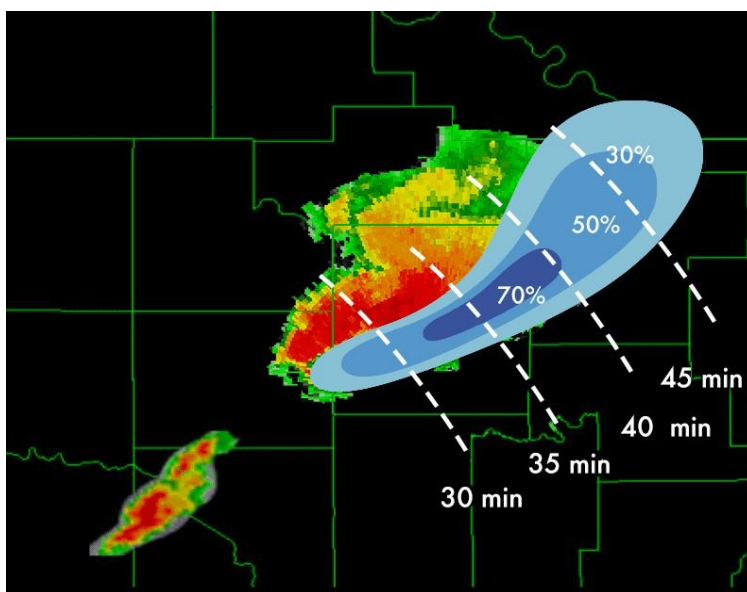
აღსანიშნავია, რომ ელჭექების (შტორმების) პროგნოზების ამოცანები მსოფლიოს ყველა ცნობილ სამეცნიერო ცენტრებში მუშავდება. მაგალითად, NOAA-ს გამოსაცდელ პოლიგონზე Dangerous Weather Test (ამინდის საშიში მოვლენები) (HWT) NSSL თანამშრომლობს NOAA-ს შტორმების პროგნოზირების ცენტრთან და ამინდის ნაციონალურ ცენტრთან (NWS) იმ მიზნით, რომ გამოიცადოს და შეფასდეს ამინდის საშიში მოვლენების პროგნოზების წინასწარ გაფრთხილების მეთოდები აშშ-ს მთელ ტერიტორიისათვის. HWT-ს ქვაკუთხედი არის ე.წ. „გაზაფხულის ექსპერიმენტი“, რომელიც ტარდება ყოველწლიურად ამინდის საშიში მოვლენების აქტიური სეზონის პირობებში. შტორმების პროგნოზირებაში ყველაზე რთული ამოცანა არის პროცესის წარმოქმნის ზუსტი დროს და ადგილის დადგენა. გამოიყენება კომპიუტერული მოდელები იმისათვის, რომ გაირკვეს თუ რომელი პრედიქტორები გვატყობინებს შტორმული პროცესის ზრდას. პროექტის „Warm-on-Forecast“-ის თანამშრომლები ამუშავებენ საშიში ამინდის ისეთი სპეციფიკურ პროგნოზებს, რომლის საფუძველზე სინოპტიკოსს შეეძლება ელჭექის ფორმირების შესახებ ინფორმაციის გამოცხადება ერთ საათზე ნაკლები დროით ადრე. NSSL (ძლიერი შტორმების შესწავლის ლაბორატორია) ამუშავებს ე.წ. ანსამბლურ (კომპიუტერული მოდელების ჯგუფი) მოდელებს ამინდის საშიში მოვლენების მოკლევადიან პროგნოზისთვის (0-60 წუთი). ასევე NSSL-ის მკვლევარებმა გაანალიზეს ელჭექების კლიმატოლოგია, საშიში მოვლენების (ტორნადო, სეტყვა, ელჭექური დამანგრეველი ქარები) ხდომილობის ალბათობის შეფასების მიზნით (სურათი 1-4). ეს პარამეტრი მნიშვნელოვანია პროგნოზირების სხვადასხვა მეთოდების გამოყენებისას, განსაკუთრებით კი რიცხვით მოდელებისათვის [6].



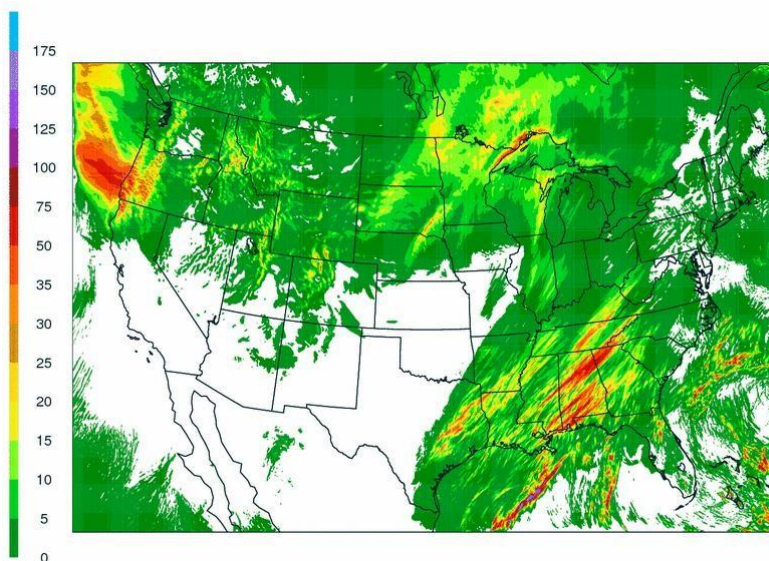
სურ. 1 NSSL-ის კვლევები იყენებენ 3-D კომპიუტერულ მოდელებს, რათა შეისწავლონ, თუ როგორ იქცევა ელჭექი სხვადასხვა ამინდის პირობებში



სურ. 2 მკვლევარები სწავლობენ ელვას საველე პროექტებში აეროზონდის გამოყენებით



სურ. 3 Warm-on-Forecast-ს კონცეპტუალური მოდელი, რომელიც პროგნოზირებს პოტენციურად ტორნადოს სუპერუჯრედის გზას მომდევნო საათის განმავლობაში



სურ. 4. NSSL-ის WRF მოდელით გამოთვლილი 36-საათიანი ნალექების პროგნოზი.

როგორც ცნობილია საქართველო ერთ-ერთი ელქექსაშიში რეგიონია [7] და ამინდის ექსტრემალური მოვლენების პროგნოზს დიდი მნიშვნელობა გააჩნია ამ ქვეყნისათვის. ამ მიმოხილვის ავტორების მიერ რამდენიმე წლის წინ [8] გამოთვლილ იქნა ელქექების ხდომილების ალბათობა საქართველოს მთელ ტერიტორიის 15 კლიმატური ზონისათვის. ამ ალბათობის გამოსათვლელად გამოყენებულია ჰუასონის განტოლება, ჩაწერილი შემდეგი სახით:

$$P = 1 - \exp \left[ -\frac{2}{3} \left( \frac{\bar{x}}{k} \times \frac{r}{r_0} \right) \right]$$

სადაც  $\bar{x}$  – წლის თბილი პერიოდის (III-X თვეები) ელქექიან დღეთა საშუალო მრავალწლიური რიცხვია,  $k$  – სეზონის დღეთა რიცხვი,  $r$  – განსახილველი ფართობის რადიუსი (50კმ, 100კმ, 150კმ),  $r_0$  – იმ ფართობის რადიუსია, რომელზეც ფიქსირდება ელქექი ვიზუალურ-სმენითი მეთოდით ( $\approx 20$ კმ).

საქართველოს ტერიტორია გამოირჩევა ძალიან რთული რელიეფით, ზღვის დონიდან სიმაღლეების დიდი დიაპაზონით. ამ მიზეზის გათვალისწინებით ნახსენებ ნაშრომში ალბათობა გამოთვლილია კლიმატურად განსხვავებულ 15 ზონისათვის. გეოგრაფიულად საქართველოს ტერიტორია იყოფა ორ ნაწილად – დასავლეთ და აღმოსავლეთ რეგიონად. იმავე მეთოდით გამოთვლილი ელქექთა ხდომილების ალბათობები ამ ორი რეგიონისათვის მოყვანილია ცხრილი 1-ში.

**ცხრილი 1. დასავლეთ და აღმოსავლეთ რეგიონისათვის ელქექთა ხდომილების საშუალო P და მაქსიმალური P<sub>max</sub> ალბათობები**

რეგიონი	P			P <sub>max</sub>		
	50 კმ	100 კმ	150 კმ	50 კმ	100 კმ	150 კმ
დასავლეთ საქართველო	0,19	0,33	0,46	0,30	0,52	0,66
აღმოსავლეთ საქართველო	0,23	0,41	0,55	0,35	0,58	0,72

როგორც ცხრილიდან ჩანს, ელქექთა ხდომილების ალბათობა მეტია აღმოსავლეთ რეგიონში და იზრდება განსახილველი ფართობის რადიუსის ზრდასთან ერთად. მოყვანილი გამოთვლები შესაძლოა გამოყენებულ იქნეს პროგნოზირების ნებისმიერ მოდელში.

ამგვარად, ელქექური პროცესების პროგნოზირება მეტეოროლოგიაში ერთ-ერთი ყველაზე რთული ამოცანაა ამ ფენომენის მცირე ლოკალიზების, სწრაფი განვითარების და ატმოსფერული ტურბულენტობის გამო. პროგნოზირების ძირითადი გამოწვევებია:

**სივრცითი და დროითი გაურკვევლობა** - ელქექური ღრუბელი შეიძლება იყოს მხოლოდ რამდენიმე კილომეტრის დიამეტრის და განვითარდეს 30-60 წუთში. არსებული მოდელები ხშირად ვერ ახერხებენ იმ ქალაქის ან რეგიონის ზუსტი ადგილმდებარეობის პროგნოზირებას, სადაც განმუხტვა მოხდება.

**ფიზიკური პროცესების სირთულე** - ელქექი არის რთული ფენომენი, რომელიც დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, კერძოდ, ტენიანობაზე, ტემპერატურაზე (სხვადასხვა სიმაღლეებზე), აღმავალი ნაკადის ინტენსივობასა და ჰაერის აეროზოლურ შემადგენლობაზე. ამ ფაქტორებიდან რომელიმეს უმცირესმა ცვლილებამ შეიძლება ხელი შეუშალოს ელქექის საერთოდ წარმოქმნას, ან გადაიქცეს დამანგრეველ შტორმად.

**დაკვირვებების ქსელის არასაკმარისი სიმჭიდროვე** - მეტეოროლოგიური სადგურები განლაგებულია ერთმანეთისგან მნიშვნელოვან მანძილზე. მცირე მასშტაბის პროცესები, რომლებიც იწვევს კონვექციას (ვერტიკალური ჰაერის მოძრაობა), ხშირად „გადაადგილდება“ გაზომვის ქსელის კვანძებს შორის.

**რეგიონული და ოროგრაფიული მახასიათებლები** - ურბანული განვითარება („სითბოს კუნძულები“) და რთული ტოპოგრაფია (მთები, ბორცვები) მნიშვნელოვნად ამახინჯებს ჰაერის მასების მოძრაობას, რაც ქმნის უნიკალურ ელქექურ პირობებს, რომელთა გათვალისწინება გლობალურ მოდელებში რთულია.

**რიცხვითი მოდელების სიზუსტის შეზღუდვები** - ატმოსფეროს აღმწერი განტოლებები უკიდურესად მგრძნობიარეა საწყისი მონაცემების მიმართ. გაზომვის შეცდომები გროვდება, რაც ელქექების გრძელვადიან პროგნოზირებას (1-3 დღეზე მეტი ხნის შემდეგ) არაეფექტურს ხდის.

„მშრალი“ ელქეების პრობლემა - მიწასთან ახლოს დაბალი ტენიანობის პირობებში, ნალექი შეიძლება აორთქლდეს დედამიწის ზედაპირამდე მიღწევამდე, ხოლო ელექტრული აქტივობა გრძელდება, რაც დამატებით სირთულეებს ქმნის მისი რადარით აღმოსაჩენად. ამ პრობლემების გადასაწყვეტად მეცნიერები დიდ იმედებს ამყარებენ ხელოვნურ ინტელექტზე [9].

### დასკვნები

განხილული კვლევა [2] აჩვენებს, რომ კონვექციური შტორმების განვითარება მხოლოდ ატმოსფერულ პირობებზე არ არის დამოკიდებული. აქტიურ როლს თამაშობს მიწის ზედაპირიც, განსაკუთრებით კი ნიადაგის ტენიანობის არათანაბარი განაწილება. ნიადაგის ტენიანობის კონტრასტები ქმნის პირობებს კონვექციის დასაწყებად. ქარის ძვრა განსაზღვრავს როგორ და სად განვითარდება შტორმი. ამ ორი ფაქტორის ერთობლივი მოქმედება იწვევს ამინდის ყველაზე ძლიერ და ექსტრემალურ მოვლენებს.

კვლევის შედეგები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მაშინ, როდესაც მცირე მასშტაბის მიწის ზედაპირის თავისებურებების გამო, ამინდის პროგნოზი ყოველთვის ვერ განსაზღვრავს ზუსტად შტორმის ლოკაციას. აქედან გამომდინარე, შეიძლება ითქვას, რომ ნიადაგის ტენიანობაზე უკეთ დაკვირვებითა (მაგ. სატელიტებით) და მისი ჩართვით ამინდის მოდელებში მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდება პროგნოზები.

ეს აღმოჩენები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს:

- ძლიერი წვიმისა და წყალდიდობის პროგნოზში;
- ძლიერი ელქეების რისკის შეფასებაში;
- კლიმატის ცვლილების გავლენის უკეთ გაგებაში.

ასეთი კვლევები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია რეგიონებისთვის, სადაც მოსახლეობა დაუცველია ამინდის კატასტროფული მოვლენებისაგან, ინფრასტრუქტურა არამდგრადია და პროგნოზირების საშუალებები არასაკმარისი.

კლიმატის ცვლილების კონტექსტში კვლევის ავტორები ყურადღებას ამახვილებენ იმაზე, რომ გლობალური დათბობა ზრდის ატმოსფეროს ენერჯიას. შედეგად კონვექციური შტორმები შეიძლება გახდეს უფრო ძლიერი და უფრო ხშირი. ამ პირობებში ნიადაგის ტენიანობის როლი კიდევ უფრო მნიშვნელოვანი ხდება, რადგან გვალვები და ძლიერი ნალექები უფრო მკვეთრ კონტრასტებს ქმნის, რაც ზრდის ექსტრემალური მოვლენების ალბათობას.

განხილულ კვლევას გლობალური მნიშვნელობა გააჩნია. მიუხედავად იმისა, რომ ფოკუსირებულია აფრიკაზე, კვლევებში გამოყენებული მექანიზმი მოქმედებს სხვა რეგიონებშიც, განსაკუთრებით იქ, სადაც ჰაერის მაღალი ტემპერატურები და ნიადაგის ტენიანობა არათანაბრადაა განაწილებული. ეს მნიშვნელოვანია ამინდის პროგნოზირების გაუმჯობესებისათვის, ექსტრემალური მოვლენების (წყალმოვარდნა, ძლიერი ელქეური პროცესი) უკეთ შესასწავლად, კლიმატის მოდელების დახვეწისათვის [2].

მარტივად რომ ვთქვათ: მშრალი და ტენიანი ნიადაგის „საზღვრები“ არის შტორმების დაბადების ადგილი, ქარი განსაზღვრავს, თუ როგორ განვითარდება შტორმული პროცესები, მათი კომბინაცია კი ქმნის ყველაზე კატასტროფულ სიტუაციებს. [2-5]

### ლიტერატურა - REFERENCES

1. World Meteorological Organization (WMO). WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019). WMO-No. 1267. WMO <https://wmo.int/publication-series/wmo-atlas-of-mortality-and-economic-losses-from-weather-climateand-water-extremes-1970-2019> (2021).
2. Christopher M. Taylor, Cornelia Klein, Emma J. Barton, Sebastian Hahn & Wolfgang Wagner Wind shear enhances soil moisture influence on rapid thunderstorm growth Nature 651,116-121 (2026)
3. Froidevaux P., Schlemmer L., Schmidli, J., Langhans, W. & Schär, C. Influence of the background wind on the local soil moisture–precipitation feedback. *J. Atmos. Sci.* 71, 782–799 (2014).
4. Taylor, C. M. et al. Frequency of Sahelian storm initiation enhanced over mesoscale soil-moisture patterns. *Nat. Geosci* 4, 430–433 (2011).
5. Birch, C. E., Marsham, J. H., Parker, D. J. & Taylor, C. M. The scale dependence and structure of convergence fields preceding the initiation of deep convection. *Geophys. Res. Lett.* 41, 4769–4776 (2014).
6. NSSL Research: Thunderstorms: <https://www.nssl.noaa.gov/research/thunderstorms>
7. Probability of thunderstorms in the territory of Georgia. I.Mkurnalidze, M.Tatishvili Proceedings of the International Conference Dedicated to the 90th Anniversary of the GTU (II), Tbilisi, 2012, 248-253p

8. Dynamics and Statistical Distribution of Hail and Lightning Processes in Georgia Against the Background of Global Climate Change M.Tatishvili, L.Kartvelishvili, I.Mkurnalidze, R.Meskhia Monograph / Publishing House "Mtsinobari" Tbilisi 2018, 146 p.
9. Mkurnalidze I., Kapanadze N. Dry Thunderstorm as a cause of forest fires. International Scientific Conference "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes" Proceedings, ISBN 978-9941-36-147-0, Tbilisi, Georgia, November 16-17, 2023. pp. 181-184.

[doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-118-124](https://doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-118-124)

UDC: 551.583

**Modern Methods for Forecasting Convective Storms and the Role of Mesoscale Factors. /Kapanadze N., Mkurnalidze I., Meladze M./** Transactions IHM, GTU. -2026. -vol.139. -pp.118-124. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

The paper discusses the dynamics of increasing thunderstorm activity against the background of global climate change and modern methods for its forecasting. The article reviews the work dedicated to forecasting hazardous weather events by world-renowned scientific centers such as **NOAA HWT, NSSL, and NWS**. It analyzes the results of a large-scale study conducted by the **UK Centre for Ecology & Hydrology**, which demonstrates the decisive role of soil moisture contrasts and vertical wind shear in the initiation of extreme storms.

The study reviews synoptic, radar, satellite, and numerical forecasting methods, and highlights the potential of Artificial Intelligence (AI) in reflecting mesoscale processes. Special attention is paid to the region of Georgia as a lightning-prone zone. Based on the **Poisson equation**, probabilities of thunderstorm occurrence are presented for 15 climatic zones of Georgia, which is crucial for improving early warning systems and reducing economic losses.

[doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-118-124](https://doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-118-124)

უკ:551.583

**კონვექციური შტორმების პროგნოზირების თანამედროვე მეთოდები და მეზომასტაბური ფაქტორების როლი/ მკურნალიძე ირინე, კაპანაძე ნაილი, მელაძე მაია/სტუ-ის ჰმ-ის შრომათა კრებული-2026.-ტ.139.-გვ.118-124. -ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.**

ნაშრომში განხილულია კლიმატის გლობალური ცვლილების ფონზე ელქექური აქტივობის ზრდის დინამიკა და მისი პროგნოზირების თანამედროვე მეთოდები. სტატიაში მიმოხილულია მსოფლიოს წამყვანი სამეცნიერო ცენტრების (NOAA HWT, NSSL, NWS) მიღწევები ამინდის საშიში მოვლენების პროგნოზირების მიმართულებით. გაანალიზებულია ბრიტანეთის ეკოლოგიისა და ჰიდროლოგიის ცენტრის მასშტაბური კვლევის შედეგები, რომლებიც ადასტურებენ ნიადაგის ტენიანობის კონტრასტებისა და ვერტიკალური ქარის ქროლვის (WIND SHEAR) გადაწყვეტ როლს ექსტრემალური შტორმების ინიცირებაში.

ნაშრომში დეტალურადაა განხილული პროგნოზირების სინოპტიკური, რადიოლოკაციური, თანამგზავრული და რიცხვითი მეთოდები. ხაზგასმულია ხელოვნური ინტელექტის (AI) პოტენციური მეზომასტაბური პროცესების მოდელირებაში. კვლევის პრაქტიკული ნაწილი ეთმობა საქართველოს, როგორც მაღალი ელქექური აქტივობის რეგიონს. უკანონის განტოლების გამოყენებით გამოთვლილია ელქექების ხდომილების ალბათობები საქართველოს 15 კლიმატური ზონისთვის, რაც ფუნდამენტურია ადრეული შეტყობინების სისტემების დახვეწისა და ეკონომიკური ზარალის მინიმუმაციისთვის.

[doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-118-124](https://doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-118-124)

УДК: 551.583

**Современные методы прогнозирования конвективных штормов и роль мезомасштабных факторов Резюме / Мкурналидзе И.П., Капанадзе Н.И., Меладзе М.Г./** Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2026. – том 139. - с.118-124. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

В работе рассматривается динамика роста грозовой активности на фоне глобального изменения климата и современные методы её прогнозирования. В статье представлен обзор работ, посвященных прогнозированию опасных погодных явлений, ведущих мировых научных центров, таких как **NOAA HWT, NSSL и NWS**. Проанализированы результаты масштабного исследования Центра экологии и гидрологии Великобритании, которые демонстрируют решающую роль контрастов влажности почвы и вертикального сдвига ветра в инициировании экстремальных штормов.

В работе рассматриваются синоптические, радиолокационные, спутниковые и численные методы прогнозирования, а также подчеркивается потенциал искусственного интеллекта в отражении мезомасштабных процессов. Особое внимание уделено территории Грузии как грозоопасному региону. На основе **уравнения Пуассона** рассчитаны вероятности возникновения гроз для 15 климатических зон Грузии, что имеет важное значение для совершенствования систем раннего оповещения и снижения экономического ущерба.