



ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი  
საქართველოს გეოფიზიკური ასოციაცია

Ivane Javakhishvili Tbilisi State University  
Mikheil Nodia Institute of Geophysics  
Technical University of Georgia  
Institute of Hydrometeorology  
Georgian Geophysical Association

**საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია  
„კომპლექსური გეოფიზიკური მონიტორინგი  
საქართველოში: ისტორია, თანამედროვე პრობლემები,  
ქვეყნის მდგრადი განვითარების ხელშეწყობა“**

**შ რ ო მ ე ბ ი**

04 September 2022

**PROCEEDINGS**

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE  
“COMPLEX GEOPHYSICAL MONITORING IN GEORGIA:  
HISTORY, MODERN PROBLEMS, PROMOTING SUSTAINABLE  
DEVELOPMENT OF THE COUNTRY”**

**ოქტომბერი 17-19 October  
თბილისი, საქართველო/Tbilisi, Georgia**

**2024**

04 August 2023

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი  
საქართველოს გეოფიზიკური ასოციაცია

Ivane Javakhishvili Tbilisi State University  
Mikheil Nodia Institute of Geophysics

TECHNICAL UNIVERSITY OF GEORGIA  
Institute of Hydrometeorology  
Georgian Geophysical Association

## საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია

„კომპლექსური გეოფიზიკური მონიტორინგი საქართველოში:  
ისტორია, თანამედროვე პრობლემები, ქვეყნის მდგრადი  
განვითარების ხელშეწყობა“

თბილისი, საქართველო, 17-19 ოქტომბერი, 2024 წ.

ედღვნება საქართველოში რეგულარული მაგნიტურ-მეტეოროლოგიური  
დაკვირვებების ორგანიზების 180-ე წლისთავს

## შრომები

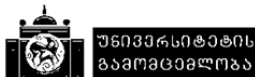
### International Scientific Conference

“Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems,  
Promoting Sustainable Development of the Country”

Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024

Dedicated to 180 Anniversary of the Organization in Georgia  
of Regular Magneto-Meteorological Observations

## Proceedings



## სამეცნიერო კომიტეტი და სარედაქციო საბჭო

**თამაზ ჭელიძე:** აკადემიკოსი, სამეცნიერო კომიტეტის თავმჯდომარე, მთავარი რედაქტორი; **ნოდარ ვარამაშვილი, ჯემალ ქირია:** სამეცნიერო კომიტეტის თანათავმჯდომარეები – თსუ, მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი, საქართველო; **ნანა ბოლაშვილი:** სამეცნიერო კომიტეტის თანათავმჯდომარე – თსუ, ვახუშტი ბაგრატიონის სახელობის გეოგრაფიის ინსტიტუტი, საქართველო; **მიხეილ ფიფია:** სამეცნიერო კომიტეტის თანათავმჯდომარე – სტუ, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, საქართველო; **ავთანდილ ამირანაშვილი** (მთავარი რედაქტორის მოადგილე), **ნუგზარ ლლონტი, გიორგი მელიქაძე** – თსუ, მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი, საქართველო; **ლიანა ქართველიშვილი** – გარემოს ეროვნული სააგენტო, საქართველო; **მარიკა ტატიშვილი, მაია მელაძე** – სტუ, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, საქართველო; **ქეთევან ხაზარაძე** – საქართველოს ფიზიკური აღზრდისა და სპორტის სახელმწიფო სასწავლო უნივერსიტეტი, საქართველო; **ნინო ჯაფარიძე** – თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი, საქართველო; **ლაურა რუსტიონი, ჯანლუკა პაპაკოგლი** – სალენტოს უნივერსიტეტი, იტალია; **იანია ვაუპოტიჩი** – იოჟეფ სტეფანის ინსტიტუტი, სლოვენია; **იმტვან ფორიზი** – გეოლოგიური და გეოქიმიური კვლევების ინსტიტუტი, უნგრეთი; **სერგეი ნაზარეთიანი** – სეისმური დაცვის ტერიტორიული სამსახური, სომხეთის რესპუბლიკის შინაგან საქმეთა სამინისტრო, სომხეთი.

## Scientific Committee and Editorial Board

**Tamaz Chelidze:** Academician, Chairman of the Scientific Committee, Editor-in-Chief; **Nodar Varamashvili, Jemal Kiria:** Co-Chairmans of the Scientific Committee – TSU, M. Nodia Institute of Geophysics, Georgia; **Nana Bolashvili:** Co-Chairman of the Scientific Committee – TSU, Vakhushiti Bagrationi Institute of Geography, Georgia; **Mikheil Pipia:** Co-Chairman of the Scientific Committee – GTU, Institute of Hydrometeorology, Georgia; **Avtandil Amiranashvili** (Deputy Editor-in-Chief), **Nugzar Ghlonti, George Melikadze** – TSU, M. Nodia Institute of Geophysics, Georgia; **Liana Kartvelishvili** – National Environmental Agency, Georgia; **Marika Tatishvili, Maia Meladze** – GTU, Institute of Hydrometeorology, Georgia; **Ketevan Khazaradze** – Georgian State Teaching University of Physical Education and Sport, Georgia; **Nino Japaridze** – Tbilisi State Medical University, Georgia; **Laura Rustioni, Gianluca Pappacogli** – University of Salento, Italy; **Janja Vaupotič** – Jožef Stefan Institute, Slovenia; **István Fórizs** – Institute for Geological and Geochemical Research, Hungary; **Sergey Nazaretyan** – Regional Survey for Seismic Protection, Ministry of Internal Affairs of the Republic of Armenia, Armenia.

## საორგანიზაციო კომიტეტი

**მანანა ნიკოლაიშვილი:** საორგანიზაციო კომიტეტის ხელმძღვანელი, **ზამირა არზიანი:** საორგანიზაციო კომიტეტის ხელმძღვანელის მოადგილე; **ირმა ლლონტი, სოფიკო მათიაშვილი, ეკატერინე მეფარიძე, დიმიტრი ამილახვარი, დიმიტრი ტეფნაძე, ლევან ლალიაშვილი** – თსუ, მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი, საქართველო; **ნინო თანიაშვილი** – საქართველოს გეოფიზიკური ასოციაცია, საქართველო; **ნაზიბროლა ბეგლარაშვილი** – სტუ, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, საქართველო; **ინგა ჯანელიძე** – საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო.

## Organizing Committee

**Manana Nikolaishvili:** Chairman of Organizing Committee; **Zamira Arziani** – Deputy Chairman of Organizing Committee; **Irma Glonti, Sophiko Matiasvili, Ekaterine Mepharidze, Dimitri Amilakhvari, Dimitri Tepnadze, Levan Laliashvili** – TSU, M. Nodia Institute of Geophysics, Georgia; **Nino Taniashvili** – Georgian Geophysical Association, Georgia; **Nazibrola Beglarashvili,** – GTU, Institute of Hydrometeorology, Georgia; **Inga Janelidze** – Georgian Technical University, Georgia.

© ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2024  
Publish Hous of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, 2024

ISBN 978-9941-36-272-9

E-mail: [geophysics@tsu.ge](mailto:geophysics@tsu.ge)  
<http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/254>



## დუშეთის (თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორია ერთ-ერთი უძველესია მსოფლიოში

გოგუა რ.

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის  
მიხეილ ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტის

**ანოტაცია.** სტატიაში მოთხრობილია დუშეთის (თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორიის დაარსების და ფუნქციონირების ისტორია, აღნიშნულია მისი მნიშვნელობა და როლი დედამიწის მაგნიტური ველის შესწავლაში.

**საკვანძო სიტყვები:** დედამიწის მაგნიტური ველი, მაგნიტური ობსერვატორია, მაგნიტური ველის ვარიაციები.

საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა შორის გეოფიზიკას და მის ერთ-ერთ განშტოებას – გეომაგნეტიზმს უდიდესი როლი უკავია კაცობრიობის მატერიალურ და კულტურულ ცხოვრებაში. გეომაგნეტიზმი არის ერთ-ერთი ყველაზე ძველი (თავისი ისტორიით) და ყველაზე ახალგაზრდა (კვლევის მეთოდებით). იგი მოიცავს, როგორც დედამიწის მუდმივი მაგნიტური ველის თეორიას მისი პრობლემებით: მთავარი ველის წარმოშობა, საუკუნოებრივი ვარიაციები, მაგნიტომეტრია, პალეომაგნეტიზმი, ისე ატმოსფეროს გამტარი ფენების ელექტროდინამიკის საკითხებს, პლაზმის ფიზიკის და დედამიწის ახლო კოსმოსური სივრცის შესწავლას. გეომაგნეტიზმის განვითარებას ახალი იმპულსი მისცა დედამიწის აგებულების და სასარგებლო წამარბების, მაგნიტური კარტოგრაფიის, ნავიგაციის და ბოლო დროს ექსპერიმენტულმა გამოკვლევებმა თანამგზავრებით და კოსმოსური აპარატებით.

გეომაგნეტიზმის დიდი ისტორიის მიუხედავად მასზე დაკვირვება XVII საუკუნის ბოლომდე შემოიფარგლებოდა მხოლოდ მიხრილობის და დახრილობის კუთხეების განსაზღვრით, რადგან არ არსებობდა მაგნიტური ძალის განსაზღვრის მეთოდი. მხოლოდ 1785 წელს, როდესაც შ. კულონმა შეიმუშავა ბრუნვითი მომენტის გაზომვის მეთოდი შესაძლებელი გახდა მაგნიტური ველის დაძაბულობის განსაზღვრა.

XIX საუკუნის დასაწყისში ალექსანდრე ფონ ჰუმბოლდტმა იმოგზაურა ამერიკის კონტინენტზე და პირველად ჩაატარა დედამიწის მაგნიტური ველის დაძაბულობის განსაზღვრა კონტინენტის სხვადასხვა ნერტილში. მიღებულმა ინფორმაციამ დედამიწის მაგნიტური ველის შესახებ ძლიერ დააინტერესა დიდი მეცნიერი და მოაზროვნე კარლ ფრიდრიხ გაუსი. შედეგად 1839 წელს გამოჩნდა კ. გაუსის კლასიკური ნაშრომი „დედამიწის მაგნიტური ველის დაძაბულობა, მიყვანილი აბსოლუტურ მნიშვნელობაზე“. ამ ნაშრომთან ერთად მან დაწერა მეორე ნაშრომი, სათაურით „დედამიწის მაგნეტიზმის ზოგადი თეორია“, სადაც მან სრულიად ახლებურად დასვა დედამიწის მაგნიტური ველის ინტერპრეტაციის საკითხი, დაუშვა რა ვარაუდი, რომ დედამიწის მაგნეტიზმის მიზეზი არის დედამიწის შიგნით და არა გარეთ. კ. გაუსმა მაგნიტური პოტენციალი წარმოადგინა როგორც ფუნქცია განედისა და გრძედის. ამით შესაძლებელი გახდა, დედამიწის ნებისმიერ ნერტილში, მაგნიტური პოტენციალის თეორიული განსაზღვრა.

XIX საუკუნის დასაწყისიდან მეცნიერები მივიდნენ დასკვნამდე, რომ დედამიწის მაგნიტური ველის ყველა ასპექტის შესწავლა შესაძლებელია მხოლოდ მსოფლიოს მთელს ტერიტორიაზე თა-



ნაბრად განაწილებული ობსერვატორიული დაკვირვებების შედეგად. ამ პერიოდში ა. ჰუმბოლდტი-სა და კ. გაუსის მიერ წარმოდგენილი იქნა იმ დროისათვის უპრეცედენტო პროექტი ე.წ. „მაგნიტური კავშირი“, რომლის საფუძველზეც მსოფლიოს სხვადასხვა კუთხეში დაიწყო მაგნიტურ-მეტეოროლოგიური ობსერვატორიების მშენებლობა. სულ დაარსებული იქნა 39 ობსერვატორია, აქედან 17 დასავლეთ ევროპაში, 12 – კოლონიებში, 1 – ჩინეთში და 9 – რუსეთის იმპერიაში, რომელთაგან ერთ-ერთი იყო ტიფლისის მაგნიტურ-მეტეოროლოგიური ობსერვატორია.

ობსერვატორიამ თბილისში ფუნქციონირების დროს რამოდენიმეჯერ შეიცვალა ადგილმდებარეობა და 1862 წელს, საბოლოოდ დამკვიდრდა თბილისის სრულიად დაუსახლებელ ადგილას (დღევანდელი დავით აღმაშენებლის პრ. №150). ობსერვატორიის შენობა დღესაც დგას პროსპექტზე, თუმცა თბილისის ქუჩების ელექტროფიკაციამ საფრთხე შეუქმნა ობსერვატორიის ნორმალურ ფუნქციონირებას, ამიტომ ობსერვატორიის დირექტორმა ა. გლასეკმა ჯერ კიდევ 1898 წელს დაიწყო ზრუნვა ობსერვატორიის თბილისიდან გადატანის შესახებ. შედეგად შეიქმნა კომისია, რომელმაც დაამუშავა ობსერვატორიის გადატანის პროექტი, ადგილი კი შერჩეული იქნა ქ. მცხეთის მახლობლად სოფ. კარსანში. კარსანში ობსერვატორიის გადატანას ხელმძღვანელობდა ა. გლასეკი. ობსერვატორიამ კარსანში ფუნქციონირება დაიწყო 1904 წელს.

1918 წელს ობსერვატორია შევიდა თბილისის უნივერსიტეტის შემადგენლობაში. უნივერსიტეტის ხელმძღვანელობა რექტორი პეტრე მელიქიშვილი და ივანე ჯავახიშვილი თავიდანვე დიდ ყურადღებას იჩენდნენ კარსანის ობსერვატორიის მიმართ, რათა მას მალევე დაეწყო ნორმალური ფუნქციონირება.

1923 წლის გაზაფხულზე თბილისის გეოფიზიკური ობსერვატორიის დირექტორს და უნივერსიტეტის ფიზიკის კათედრის გამგეს პროფ. ა. დიდებულის დაევალა ეზრუნა კარსანის მაგნიტური ობსერვატორიის აღდგენაზე. გადაწყდა ობსერვატორიის მუშაობაში ჩაერთოთ თბილისის უნივერსიტეტის ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტის სტუდენტები: ი. ქურდიანი, კ. პიპინაშვილი და ნ. ინ-ნიკირველი. ამავე დროს, ა. დიდებულის კათედრის თანამშრომელს მ. ნოდის ურჩია წასულიყო კარსანის ობსერვატორიაში, როგორც მისი მომავალი ხელმძღვანელი. ამავე წლის სექტემბერში მ. ნოდია მიავლინეს პავლოვსკის მთავარ გეოფიზიკურ ობსერვატორიაში, სადაც მიიღო მაგნიტური ობსერვატორიის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის საჭირო თეორიული და პრაქტიკული გამოცდილება.

1924 წლის ბოლოს მ. ნოდია დაბრუნდა მივლინებიდან და შეუდგა მეტად საპასუხისმგებლო და შრომატევადი საქმის კარსანის მაგნიტური ობსერვატორიის აღდგენას, რაც მან დიდი წარმატებით შეასრულა.

1926 წელს ზემო-ავჭალის ჰიდროელექტროსადგურის ექსპლუატაციაში გაშვებამ, რასაც მოჰყვა თბილისი-ფოთის რკინიგზის ელექტროფიკაცია, საშიშროება შექმნა მაგნიტური ობსერვატორიის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის. ამ გარემოებების გათვალისწინებით საქართველოს განათლების სახალხო კომისრის დ. კანდელაკის განკარგულებით (07.01.1927წ.) შეიქმნა სპეციალური კომისია თბილისის გეოფიზიკური ობსერვატორიის დირექტორის მ. ნოდის თავმჯდომარეობით.

კომისიამ სპეციალური გამოკვლევებისა და გაანგარიშებების შემდეგ დაადგინა, რომ ზემო ავჭალის ჰიდროელექტროსადგურის ამუშავება და თბილისი-ფოთის რკინიგზის ელექტროფიკაცია „დამლუპველ გავლენას მოახდენს მაგნიტური ობსერვატორიის ნორმალურ ფუნქციონირებაზე“, ამიტომ აუცილებელი გახდა ობსერვატორიის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის მოეძებნათ ახალი ტერიტორია.

პირველი გამოკვლევები ობსერვატორიისათვის ტერიტორიის შერჩევის მიზნით ჩაატარეს კარსანის ობსერვატორიის თანამშრომლებმა შ. ფავლენიშვილმა და შ. ხუჭუამ, მ. ნოდის ხელმძღვანელობით. დეტალურად იქნა გამოკვლეული ტერიტორიის მაგნიტური ველი, როგორც კარსანი-დუშეთის პროფილზე, ისე ქ. დუშეთის მიმდებარე ტერიტორიაზე. აღნიშნული გამოკვლევების საფუძველზე ვაკეთდა დასკვნა, რომ ქ. დუშეთის მიმდებარე ტერიტორია სრულად აკმაყოფილებდა მაგნიტური ობსერვატორიის ნორმალური ფუნქციონირების პირობებს.

დუშეთში მაგნიტურმა ობსერვატორიამ ფუნქციონირება დაიწყო 1935 წლის ზაფხულში, სახელწოდებით დუშეთის (თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორია. მისი გეოგრაფიული კოორდინატებია  $\varphi = 42^{\circ}05'$ ,  $\lambda = 44^{\circ}42'$ , ხოლო საერთაშორისო კოდია TFS. იგი კარსნის მაგნიტურ ობსერვატორიასთან ერთად არის თბილისის მაგნიტურ-მეტეოროლოგიური ობსერვატორიის მემკვიდრე.

ამ დროიდან იწყება დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიის ისტორიის ბრწყინვალე ხანა. აშენდა ადმინისტრაციული შენობა, სასტუმრო, დიდი სავარიაციო პავილიონი, ლაბორატორიები აღიჭურვა ახალი ხელსაწყოებით, მოეწყო ტერიტორიის ინფრასტრუქტურა. ობსერვატორიის ტერიტორიაზე დაიწყო ფუნქციონირება სეისმურმა, მინის დენების, ატმოსფეროს ელექტრობის და მეტეოროლოგიურმა სადგურმა.

მაგნიტურმა ობსერვატორიამ არსებობის ხანგრძლივი ისტორიის მანძილზე მონაწილეობა მიიღო ყველა საერთაშორისო და საკავშირო პროგრამაში. აქედან მნიშვნელოვანია მისი მონაწილეობა პირველ (1882-1883 წწ.) და მეორე (1932-1933 წწ.) საერთაშორისო პოლარული წლის პროგრამით გათვალისწინებული სამუშაოების ჩატარებაში. ობსერვატორიამ აქტიური მონაწილეობა მიიღო, აგრეთვე, კავკასიის ტერიტორიის გენერალური მაგნიტური აგეგმვის ჩატარების დროს 1930-1935 წლებში, როგორც საყრდენმა პუნქტმა, რომლის მონაცემებითაც ხდებოდა სავსე მაგნიტური ინფორმაციის კორექტირება.

დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიის ფუნქციონირების ისტორიაში ყველაზე საპასუხისმგებლო და მნიშვნელოვანი იყო მისი მონაწილეობა, იმ დროისათვის უპრეცედენტო საერთაშორისო პროექტში, სახელწოდებით – საერთაშორისო გეოფიზიკური წელი (ს.გ.წ.). მეამაყება, რომ ვარ ამ საერთაშორისო პროექტის მონაწილე თავიდან ბოლომდე. პროექტი დაიწყო 1957 წლის 15 ივლისს და დამთავრდა 1958 წლის 31 დეკემბერს, რაც სრულად მოიცავდა მზის აქტივობის მაქსიმუმს. პროექტში მონაწილეობა მიიღო 67 ქვეყანამ, იგი ითვალისწინებდა 42 სამეცნიერო პრობლემების კვლევას. პროგრამის წარმატებით შესრულების მიზნით შეიქმნა საერთაშორისო ორგანო, სპეციალური კომიტეტი, რომლის ხელმძღვანელად დაინიშნა ცნობილი ინგლისელი პროფ. ს. ჩეპმენი.

ს.გ.წ.-ს პროგრამის მოთხოვნით გეოფიზიკის ინსტიტუტი მონაწილეობდა ხუთი პრობლემის დამუშავებაში, რომელთაგან მთავარი იყო დედამიწის მაგნიტური ველის დღეღამური, მოკლეპერიოდიანი ვარიაციებისა და მაგნიტური ქარიშხლების დაფიქსირება. მიღებული ინფორმაციის დამუშავება ყველა ობსერვატორიისათვის ტარდებოდა ერთი და იგივე პროგრამით. დამუშავებული ინფორმაცია იგზავნებოდა ქ. მოსკოვში.

საერთაშორისო გეოფიზიკური წლების პერიოდში სხვადასხვა დროს მაგნიტურ ხელსაწყოებს მომსახურებას უწევდნენ: ნ. კაციაშვილი, გ. ბერიშვილი, ნ. ხვედელიძე, ი. გოგატიშვილი, რ. გოგუა, ნ. ნამგალაური, ვ. ხახუტაშვილი, ს. ველთაური, დ. გულბათიშვილი, ი. ჭიკაიძე, მ. ებრალიძე, ლ. შერმადინი, ე. კაიშაური.

ცალკეა აღსანიშნავი მეცნიერ-თანამშრომლის თ. მათიაშვილის როლი ობსერვატორიაში ციფრული აბსოლუტური და სავარიაციო მაგნიტომეტრების მომსახურებაში. ამჟამად, ობსერვატორია აღჭურვილია თანამედროვე ციფრული აბსოლუტური და სავარიაციო მაგნიტომეტრებით:

1. პროტონული მაგნიტომეტრი PM 201 SCS, გაზომვის სიზუსტე = 0,1 ნტლ.
2. მაგნიტური თეოდოლიტი THEO-OIS, გაზომვის სიზუსტე 0,1 ნტლ.
3. სავარიაციო მაგნიტომეტრი FGE, ვერსია I, გაზომვის სიზუსტე 0,1 ნტლ.

ამჟამად, ობსერვატორიაში დაფიქსირებულია 140 წელზე მეტი პერიოდის უწყვეტი ინფორმაცია დედამიწის მაგნიტური ველის ვარიაციების შესახებ, რომელსაც აქვს არა მარტო სამეცნიერო, არამედ დიდი პრაქტიკული გამოყენება. ობსერვატორიაში მიღებული სამეცნიერო ინფორმაციის დიდი მნიშვნელობა მდგომარეობს მის უნიკალურობაში, დაკვირვებული ინფორმაციის დიდ პერიოდში და მის ერთადერთობაში მთელი კავკასიის მასშტაბით. ეს ინფორმაცია გამოიყენება: დედამიწის მაგნიტური ველის ანალიზური მოდელების შექმნაში; დედამიწის შიგნით და მაგნიტოსფეროში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების შესასწავლად; მაგნიტური რუკების შესადგენად საზღვაო და საჰაერო ნავიგაციისათვის დედამიწის აგებულების შესწავლისათვის და სასარგებლო ნამარხების

კვლევა ძიებისათვის, ამინდის პროგნოზისათვის, მიწისძვრების წინამორბედების ძიებისათვის, დედამიწის მაგნიტური ველის ბიოსფეროზე გავლენის შესასწავლად და სხვა. აღნიშნული ინფორმაცია მაგნიტომეტრების და ცხრილების სახით ინახება გეოფიზიკის ინსტიტუტის არქივში.

2007 წლის 26 თებერვალს იაპონიის მხარის ინიციატივით გაფორმდა საგრანტო შეთანხმება მსოფლიოს გეოფიზიკურ მონაცემთა ცენტრის (გ.მ.ც.), ქ. კიოტო (გრანტის გამცემი), პროფ. თ. იემორის სახით, ერთის მხრივ და მ. ნოდისას გეოფიზიკის ინსტიტუტის, როგორც გრანტის მიმღების, მეორეს მხრივ, მისი დირექტორის ნ. ლლონტის სახით.

საგრანტო შეთანხმების თანახმად, დუშეთის მაგნიტურმა ობსერვატორიამ იაპონიიდან მიიღო ციფრული სავარიაციო მაგნიტომეტრი (FGE, მოდელი DMI).

საგრანტო შეთანხმებით დ.მ.ო. ვალდებულია, უწყვეტ რეჟიმში, გადასცეს ქ. კიოტოში (იაპონია) გეოფიზიკურ მონაცემთა ცენტრს ობსერვატორიაში დაფიქსირებული ინფორმაცია დ.მ.ვ.-ის ვარიაციების შესახებ.

აღსანიშნავია, რომ თბილისში ობსერვატორიის დაარსებამ განაპირობა როგორც საქართველოში, ისე მთელს კავკასიაში თანამედროვე გეოფიზიკის მაღალი დონე.

აღსანიშნავია, აგრეთვე, რომ დუშეთის (თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორიის მთელ კომპლექსს (5,3 ჰა ტერიტორია, შენობები) 2013 წლის 12 დეკემბერს მიენიჭა კულტურული მემკვიდრეობის უძრავი ძეგლის სტატუსი.

ვისურვებდი კიდევ მრავალ წელს გაეგრძელებინოს ობსერვატორიას ფუნქციონირება.

## ლიტერატურა

- [1] ნოდია მ. თბილისი ერთ-ერთი უძველესი ფუნდამენტური გეოფიზიკური ცენტრია სსრკ-სა და მსოფლიოში. // ბუნებისმეტყველებისა და ტექნიკის ისტორიკოსთა საბჭოს შრომების კრებული 1-2. თბილისი 1970 წ., გვ. 55-64.
- [2] გოგუა რ. დუშეთის (თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორია 175 წლისაა. // მ. ნოდისას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ISSN 1512-1135, ტ. LXX, 2019, გვ. 56-70.

## DUSHETI (TBILISI) MAGNETIC OBSERVATORY IS ONE OF THE OLDEST IN THE WORLD

Gogua R.

**Abstract.** The article tells the history of the establishment and operation of Dusheti (Tbilisi) magnetic observatory, its importance and role in the study of the Earth's magnetic field is mentioned.

**Key words:** Earth's magnetic field, magnetic observatory, magnetic field variations.



## ACADEMICIAN TAMAZ CHELIDZE – 90

**Varamashvili N., Darakhvelidze L.**

*M. Nodia Institute of Geophysics, TSU, Tbilisi, Georgia*

**Abstract.** Professor **Tamaz Chelidze**, a full member of the Georgian National Academy of Sciences, Doctor of Physical-Mathematical Sciences and Chemistry, celebrates his 90<sup>th</sup> jubilee on December 24, 2024. So far, Mr. Tamaz has made a great contribution to the development of geophysical sciences. “World-class leader”, “scientist with an international reputation” – this is how outstanding foreign colleagues describe him.

**Key Words:** geophysics, seismicity, geo-ecology.

Tamaz Chelidze’s professional activity is versatile and interesting. It includes a wide range of experimental and theoretical researches: physics of heterogeneous environment, geo-ecology, physical and chemical surface processes, exploration and archaeo-geophysics, seismicity, seismic risk assessment and prediction of earthquakes, groundwater seismo-hydraulics. Creation of models of percolation and fracture of solids brought special popularity to the scientist. T. Chelidze’s works in percolation theory are a new direction in the physics of seismic processes and related geophysical fields. During recent years the scientist has published several pioneering works on the use of nonlinear dynamics and machine learning methods in solving geophysical problems.

Tamaz Chelidze was born on December 24, 1934 in the family of famous scientists and teachers in Kutaisi. Tamaz’s father, Professor Luka Chelidze, headed the Kutaisi Pedagogical Institute, and later was the Chair at the Faculty of Chemistry of Tbilisi State University. T. Chelidze finished his secondary school in Kutaisi with a gold medal in 1952, and in 1957 he graduated from the Faculty of Geology of Lomonosov Moscow State University with the specialty of geologist-geophysicist. Since 1957 he has been an employee of the Institute of Geophysics of the Georgian Academy of Sciences. In 1957-1958 he headed the Seismic Station in Dusheti, from 1958 he worked as a scientist at the Department of Rock Physics of the Institute, in 1976 he became the head of this department, in 1985 he was appointed the Deputy Director in the scientific field of the Institute, during 1992-2006 he was selected in the position of the Director of the Institute from among other candidates. From 2006 to the present Tamaz Chelidze has been the Chairman of the Scientific Council and Head of the Sector of Applied and Experimental Geophysics of the Institute of Geophysics.

In 1964, Tamaz Chelidze successfully defended his thesis at the Tbilisi State University to obtain the scientific degree of the Candidate of Physical-Mathematical Sciences on the topic “Dependence of the electric parameters of rocks on the field frequency“. In 1975, he defended his doctoral thesis on “Surface Effects in Dielectric Spectroscopy of Heterogeneous Systems” in Kyiv and was awarded the scientific degree of Doctor of Chemistry. In 1985, at the Institute of Earth Physics in Moscow, he defended his second doctoral thesis on the topic “Percolation models in the fracture physics” and was unanimously awarded the scientific degree of Doctor of Physical-Mathematical Sciences. In 1990 T. Chelidze was awarded the title of professor. In the same year, the Great Scientific Council of Tbilisi State University elected him as a professor. Since 1997 he has been a corresponding member of the Georgian Academy of Sciences, and since 2013 – an academician.

In 1990-1995, a group of Georgian seismologists, headed by T. Chelidze and Z. Javakhishvili, compiled a new map of the general seismic regions of Georgia (using Cornell’s probabilistic approach – SEISRISK-III), which was approved by the Ministry of Construction of Georgia in 1999 as a normative document.

After many years of continuous observations in the territory of Enguri HPP, Academician Tamaz Chelidze, together with his co-authors, analyzed the database of tilts and deformations of the dam and its foundation by use of nonlinear dynamics methods and obtained the results that are of great importance for the safe operation of this unique facility. T. Chelidze is the Head of the European Center for “Geodynamic Risk of High Dams” in Georgia, which was established in 1996 by the Council of Europe and which has been involved in the international research of natural and man-made risks. He is also the permanent representative from Georgia of the Agreement on Major Disasters with the Council of Europe.

Project “Influence of strong electromagnetic discharges on the seismic regime” performed by T. Chelidze aroused great interest. The results of this work, which indicate the possibility of artificial influence on the seismic regime, were followed by a response in popular science journals in England, Italy, Greece and Chile.

Academician T. Chelidze, has been working together with scientists from the Czech Republic, Germany, the United States of America, France, Italy, Russia, and Greece over years. In 1982-1983 he was a visiting professor at the Institute of Geophysics in Czechoslovakia, in 1986, 1988 and 1990 – University of Colorado (Boulder, USA), 1987-1992 – University of Strasbourg (France), 1994, 1996-1997 – University of Rennes (France) and in 2000 – a visiting professor at Ecole Normale Supérieure in Paris. He has become a full member of the American Geophysical Society (AGU) since 1992, a member of the Seismological Society of America (SSA), a member of the New York Academy, World Exploration Geophysics Society (SEG), a member of the World Innovation Foundation since 1998, a member of the European Expert Committee on Earthquake Prediction since 2001, a member of the World Exploration Geophysics Society since 2002. On June 23, 2021 he was elected as a member of the Royal Astronomical Society of London (Great Britain) (for the first time in Georgian history). This multifaceted scientific activity, mastery of several foreign languages significantly raises the authority of T. Chelidze as a great scientist and as a rare intellectual. He has been the chairman of the Scientific Council of Seismology and Earthquake Prediction of Georgia since 1991, an academician of the Georgian Academy of Environmental Sciences since 1993, the president of the Geophysical Society established with his direct participation in 1993-2000. He also founded the English-language journal of this society, which has been published under his editorship once a year since 1995 in the form of two series: “Physics of Solid Earth” and “Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma”. Academician Chelidze has received many international, individual and national scientific grants. It should be noted that during the difficult years for the Institute of Geophysics, through his high authority, the experimental bases of the Institute were equipped with modern automated systems and computers. More than 350 works have been published under his authorship and co-authorship, including monographs and textbooks. 250 works have been published in foreign high-rated peer-reviewed journals and publishing houses. Under his supervision, many young people were involved in geophysical science, including four PhDs and eleven Candidates of Sciences.

In 1984 Tamaz Chelidze received the Certificate of Honor of the Presidium of the Supreme Council of the Georgian SSR, in 2000 – the Order of Honor, in 1999 – M. Aleksidze Prize, in 2009 – M. Nodia Prize of the National Academy of Sciences of Georgia, in 2014 – Tbilisi State University Ivane Javakishvili Medal. Since 2013 he has been an honorary citizen of Tbilisi.

Tamaz Chelidze is an outstanding person in every way. His exemplary personal qualities are: generosity, modesty, high intelligence, diligence, great sense of responsibility towards himself and his colleagues.

We wish him health, courage and inexhaustible energy for the benefit of his family and Georgian science.

## დუშეთის (თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორიის მნიშვნელობა ქართული სამეცნიერო სივრცისათვის

ჭელიძე თ., გოგუა რ., მათიაშვილი თ.

ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის  
მ. ნოდუას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი

**ანოტაცია.** დუშეთის(თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორია დაარსებიდან (1844 წლიდან) ჩართულია მსოფლიოს ობსერვატორიათა ქსელში. ობსერვატორიის დაარსებამ საქართველოში ბიძგი მისცა ფუნდამენტალური მეცნიერების განვითარებას. ობსერვატორიაში რეგისტრირებული მონაცემები გამოიყენება დედამიწის მაგნიტური ველის ანალიზური მოდელების შესაქმნელად, დედამიწის შიგნით და მის გარეთ – მაგნიტოსფეროში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების შესასწავლად, ტერიტორიის მაგნიტური ველის რუკების შესადგენად, საზღვაო და საჰაერო ნავიგაციისათვის, დედამიწის აგებულების შესასწავლად და სასარგებლო ნამარხების კვლევა-ძიებისათვის, ამინდის პროგნოზის, მიწისძვრების წინამორბედების კვლევის, მაგნიტური ველის ბიოსფეროზე გავლენის შესასწავლად და სხვა.

**საკვანძო სიტყვები:** მაგნიტური ობსერვატორია, მაგნიტოსფერო, მიწისძვრების წინამორბედები.

### მიმოხილვა

დუშეთის (თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორია არის თბილისის მაგნიტურ-მეტეოროლოგიური ობსერვატორიის და კარსნის მაგნიტური ობსერვატორიის მემკვიდრე. თბილისის ობსერვატორია დაარსდა მე-19 საუკუნის 30-იან წლებში. იგი საერთაშორისო პროგრამით დაარსებული მსოფლიოს უძველესი ობსერვატორიებიდან ერთ-ერთია. თბილისში ტრავმის ხაზის ელექტროფიკაციის გამო ობსერვატორიის ნორმალურ ფუნქციონირებას საფრთხე შეექმნა, ამიტომ 1904 წელს თბილისიდან ქ.მცხეთის ახლოს მდებარე სოფ.კარსანში გადაიტანეს, სადაც იგი ფუნქციონირებდა 1935 წლამდე. 1935 წელს ზემოავჭალის ჰიდროელექტროსადგურის „ზაჰესის“ ამუშავების და თბილისი-ფოთის რკინიგზის ელექტროფიკაციის შემდეგ, კარსნის მაგნიტური ობსერვატორია გადაიტანეს ქ.დუშეთის მახლობლად, სადაც დღემდე განაგრძობს ფუნქციონირებას. ამრიგად, თბილისი-დუშეთის გეომაგნიტური ობსერვატორია არის პირველი და უძველესი ინსტრუმენტული ფიზიკური/გეოფიზიკური დაკვირვებების ცენტრი საქართველოში და ერთ-ერთი უძველესი მსოფლიოში [1,2].

სურათზე წარმოდგენილია დუშეთში დღევანდელი მაგნიტური ობსერვატორიის სქემატური რუკა.

ობსერვატორიის ტერიტორია პირობითად შეიძლება დავეყოთ ორ ნაწილად. პირველი ნაწილი: ტერიტორიის ჩრდილოეთის მხარე, სადაც განლაგებულია ადმინისტრაციული შენობა №2, სასტუმრო №4 და საქვაბე №9. მეორე ნაწილი კი განლაგებულია სამხრეთით აბსოლიტური პავილიონი №3, სადაც განთავსებულია სპეციალური მაღალ მგრძობიარე მაგნიტომეტრები, დედამიწის მაგნიტური ველის მდგენელების აბსოლიტური მნიშვნელობების პერიოდული განსაზღვისათვის. №3 – (აბსოლიტური პავილიონი) – შენობა აგებულია მთლიანად არამაგნიტური მასალისაგან, ხოლო სახურავი გადახურულია მაღალი ხარისხის სპილენძის ფურცლებით. ასევე არამაგნიტური მასალითაა აგებული სავარიაციო პავილიონი №8, სადაც განთავსებულია მაღალმგრძობიარე სენსორი, რომლის საშუალებითაც ხდება დედამიწის მაგნიტური ველის ვარიაციების დღე-ღამური უწყვეტი მონიტორინგი. №8 შენობაში წარმოებს წარმოებს დედამიწის მაგნიტური ველის ცვლილებების ციფრულ



ლი რეგისტრაცია. ბოლო სამი შენობა შენობა ნარმოადგენს ობსერვატორიის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის მთავარ ობიექტებს.

დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიის ტერიტორია აკმაყოფილებს პირობებს, რომელიც საჭიროა მაგნიტური ობსერვატორიისათვის. კერძოდ, აღნიშნული ტერიტორია ხასიათდება მაგნიტური ველის ერთგვაროვნებით: მაგნიტური ველის გრადიენტი სამხრეთ-ჩრდილოეთის მიმართულებით შეადგენს 1.5-2.0 nT/m-ს, ხოლო აღმოსავლეთ-დასავლეთის მიმართულებით შეადგენს დაახლოებით 0.5 nT/m-ს, რაც იდეალური პირობებია მაგნიტური ობსერვატორიის ფუნქციონირებისათვის.

მაგნიტური ობსერვატორიის ძირითადი სამეცნიერო ობიექტი არის აბსოლუტური პავილიონი, სადაც განთავსებულია სპეციალური მეთოდით კონსტრუირებული რამდენიმე ბოძი, სადაც ხდება აბსოლუტური გეომაგნიტური ხელსაწყოების განთავსება. ამ ბოძებიდან ირჩევენ ერთს, რომელიც ითვლება ძირითად საყრდენ ობიექტად შემდგომი გაზომვებისა და გამოთვლების ჩასატარებლად. აღნიშნული ბოძის მდებარეობა ითვლება ობსერვატორიის საყრდენ წერტილად და მასთან მიმართებაში განისაზღვრება კრიტიკული მანძილი ობსერვატორიის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის.

კრიტერიუმები, რომელთა დაკმაყოფილებაც აუცილებელია ობსერვატორიის ნორმალური მუშაობისათვის, ნარმოადგენილია ობსერვატორიათა მსოფლიო ქსელის სტანდარტებში და კერძოდ, ის პირობა, რომ გარემოს გეომაგნიტური ველი არ უნდა აღემატებოდეს 1.0 nT-ს. სწორედ ამ პირობის დარღვევამ – ადამიანის მიერ შექმნილმა მაგნიტური ველის შეშფოთებებმა - გამოიწვია ობსერვატორიის გადატანა ჯერ თბილისიდან კარსანში, შემდეგ კარსანიდან დუშეთში. ქვემოთ ჩამოთვლილია, რომელი ნივთები რა მანძილიდან ინვევენ აღნიშნულ შეშფოთებას: სამგზავრო დიდი ავტობუსი 80 მ, დიდი სატვირთო მანქანა 90 მ, მსუბუქი ავტომობილი 40 მ, მოტოციკლი 20 მ, ველოსიპედი 7 მ, ერთსართულიანი სახლი 90 მ, ორსართულიანი სახლი 100 მ. აქედან გამომდინარე, საჭიროა დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიის აბსოლუტური პავილიონიდან გარკვეული მანძილის დაცვა, შემოსაზღვრა, მისი ნორმალური, სტანდარტების შესაბამისი ფუნქციონირებისათვის.



სურ. დუშეთის ობსერვატორიის ტერიტორია და მასზე განლაგებული შენობა-ნაგებობები.

გეომაგნიტური კვლევები სპეციფიკურია, რადგან მაღალი სიზუსტის ინფორმაციის მიღებას გულისხმობს. ტერიტორიაზე, შენობებში, სადაც განთავსებულია მაგნიტომეტრები, აგრეთვე, დამ-

კვირვებელი მაგნიტომეტრებზე დაკვირვებების ჩატარების დროს არ უნდა ატარებდეს რკინის შემცველ საგნებს.

ობსერვატორიის ახლოს არ უნდა ფუნქციონირებდეს სანარმო დაწესებულებები, ელექტოფიცირებული რკინიგზა, მაღალი ძაბვის გადამცემი ხაზები, საცხოვრებელი შენობები, სადაც განთავსდება ისეთი დანადგარები, რომლებიც წარმოქმნიან მიწის დენებს, რადგან ზემოთ ჩამოთვლილი მიზეზები თვითონ არის მაგნიტური დენის წყარო, რაც ამახინჯებს დედამიწის ბუნებრივ მაგნიტურ ველს [3].

ამჟამად ობსერვატორია განთავსებულია 5,3 ჰა ტერიტორიაზე, რომელიც დღეისათვის ძირითადად აკმაყოფილებს ობსერვატორისათვის საჭირო პირობებს. აქედან გამომდინარე ობსერვატორიის ტერიტორიის შემცირება უახლოეს მომავალში გამოიწვევს ბუნებრივი მაგნიტური ველის დამახინჯებას და ობსერვატორიის ფუნქციონირების შეწყვეტას.

განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს იმ გარემოებას, რომ იაპონიის, კიოტოს უნივერსიტეტის, პირადად რექტორის ტომი შიკოს მიერ, 2007 წელს გადმოცემული ფლუქსმეტრის ტიპის მაგნიტომეტრი (Fluxgate magnetometer model FGE (Danish Meteorological Institute)) და პროტონული მაგნიტომეტრი (PMS201SCS) და ასევე, 2015 წელს ჩვენი ძალებით შეძენილი თეოდოლიტი ფეროზონდით (THEO-015) – მოითხოვენ განსაკუთრებულ პირობებს, რაც მოცემულია ნაშრომის ბოლოს წარმოდგენილ ტექნიკურ დოკუმენტაციაში და ლიტერატურაში [4,5,6].

რაც შეეხება ობსერვატორიის მიერ დაკავებული ტერიტორიის შემცირებას, შესაძლებლად მიგვაჩნია ტერიტორიის იმ ნაწილის ოპტიმიზაცია, სადაც განთავსებულია ტაძარი და მის ირგვლივ არსებული ძველი (არამოქმედი) სასაფლაო.

დუშეთის ობსერვატორიის ფუნქციონირება ძალზედ მნიშვნელოვანია მეცნიერების და პრაქტიკის განვითარებისათვის.

დუშეთის(თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორია დაარსებიდან ჩართულია მსოფლიოს ობსერვატორიათა ქსელში. ობსერვატორიის დაარსებამ საქართველოში ბიძგი მისცა ფუნდამენტალური მეცნიერებების განვითარებას, მის საფუძველზე საქართველოში დაფუძნდა გეოფიზიკური მიმართულების მრავალი ინსტიტუტი. ობსერვატორიაში მიიღეს სამეცნიერო ნათლობა აკადემიკოსებმა : ნ. მუსხელიშვილმა, ვ. ვეკუამ, ბ. ბალავაძემ. ცალკე აღნიშვნის ღირსია საქართველოში გეოფიზიკური მეცნიერებების ფუძემდებლის და დუშეთის ობსერვატორიის დამაარსებლის პროფესორ მ. ნოდუას ღვაწლი, რომლის სახელი მინიჭებული აქვს გეოფიზიკის ინსტიტუტს.

ობსერვატორია იყო ერთ-ერთი პირველი სამეცნიერო დაწესებულება, რომელიც შევიდა ახლად დაარსებულ თბილისის ივანე ჯავახიშვილის სახელმწიფო უნივერსიტეტის შემადგენლობაში. ნიშანდობლივია რომ, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის რექტორი ივანე ჯავახიშვილი დიდ ყურადღებას იჩენდა ობსერვატორიის მიმართ.

ობსერვატორიაში დაფიქსირებულ სამეცნიერო ინფორმაციას დედამიწის მაგნიტური ველის შესახებ დიდი მეცნიერული და პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. იგი გამოიყენება დედამიწის მაგნიტური ველის ანალიზური მოდელების შესაქმნელად, დედამიწის შიგნით და მის გარეთ – მაგნიტოსფეროში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების შესასწავლად, ტერიტორიის მაგნიტური ველის რუკების შესადგენად, საზღვაო და საჰაერო ნავიგაციისათვის, დედამიწის აგებულების შესასწავლად და სასარგებლო ნამარხების კვლევა-ძიებისათვის, ამინდის პროგნოზის, მიწისძვრების წინამორბედების კვლევის, მაგნიტური ველის ბიოსფეროზე გავლენის შესასწავლად და სხვა.

გარდა ამისა, დუშეთის ობსერვატორიის ტერიტორიაზე იგეგმება სასწავლო-სამეცნიერო გეოფიზიკური პოლიგონის მოწყობა. გეოფიზიკური პოლიგონის მოწყობა ისე არის დაგეგმილი, რომ მან არავითარი შეფერხება არ შეიტანოს ობსერვატორიის ფუნქციონირებაში. განზრახულია სეისმური, ელექტროსაძიებო, მაგნიტური, გეორადიოლოკაციური და სხვა გეოფიზიკური მეთოდების პოლიგონის მოწყობა. ეს ხელს შეუწყობს ქართული საძიებო გეოფიზიკური სკოლის კიდევ უფრო გაძლიერებას და საქართველოში მიმდინარე და დაგეგმილი ინფრასტრუქტურული პროექტების გეოფიზიკური უზრუნველყოფისათვის მზადყოფნის კიდევ უფრო მაღალ დონეზე აყვანას. პოლიგო-

ნის ბაზაზე შესაძლებელი იქნება სხვადასხვა დონის საზაფხულო სკოლების მოწყობა, რაც ხელს შეუწყობს ქართველი და უცხოელი სტუდენტების მოზიდვას თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში და ზოგადად საქართველოს უმაღლეს სასწავლებლებში.

დუშეთის ობსერვატორიის მთლიან ტერიტორიას (5.3 ჰა) და შენობებს 2013 წლის 12 დეკემბერს საქართველოს კულტურისა და ძეგლთა დაცვის მინისტრის N03/224 ბრძანების საფუძველზე მინიჭებული აქვს კულტურული მემკვიდრეობის უძრავი ძეგლის სტატუსი, რომელსაც იცავს საქართველოს კანონმდებლობა ძეგლის ფიზიკური და ვიზუალური ხელყოფისაგან.

## ლიტერატურა

- [1] ნოდია მ. თბილისი-ერთ-ერთი უძველესი გეოფიზიკური ცენტრი სსრკ-ში, 1970 წ.
- [2] გოგუა რ. დუშეთის (თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორია 175 წლისაა. // მ.ნოდია გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ISSN 1512-1135, ტ. LXX, 2019.
- [3] Нечаев С.А. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. // Редактор Жан Л. Рассон. Иркутск, 2003.
- [4] Jankowski J., Sucksdorf Ch. Guide for magnetic measurements and observatory practice. // IAGA, Warsaw 1996.
- [5] Rasson J., Marin J-L., Humbled F. Testing of the TDJ6E-NM BOIF theodolite for use in a DIFlux application. // Royal Meteorological Institute, Dourbes, Belgium, October 2014, <https://www.researchgate.net/publication/269987685>
- [6] Proton Precision Magnetometer (PM201SCS). Manual. // Neo Science, July 2012.

## THE IMPORTANCE OF THE DUSHETI (TBILISI) MAGNETIC OBSERVATORY FOR THE GEORGIAN SCIENTIFIC ENVIRONMENT

Chelidze T., Gogua R., Matiashvili T.

**Abstract.** *The Dusheti (Tbilisi) magnetic observatory has been included in the world observatory network since its establishment (1844). The establishment of the observatory gave an impetus to the development of fundamental science in Georgia. The data registered in the observatory are used to create analytical models of the Earth's magnetic field, to study the physical processes taking place inside and outside the Earth – in the magnetosphere, to draw up maps of the magnetic field of the territory, for marine and air navigation, to study the structure of the Earth and to search for useful fossils, for weather forecasting, for research on the precursors of earthquakes. to study the influence of the magnetic field on the biosphere and others.*

**Key words:** *magnetic observatory, magnetosphere, precursors of earthquakes.*



# ANALYSIS OF GEOMAGNETIC ACTIVITY AND CORONAL MASS EJECTIONS

Kiria T., Nikolaishvili M., Chkhaidze T., Mebaghisvili N.

*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*

*kiria8@gmail.com*

**Abstract:** *This study investigates the relationship between geomagnetic activity and coronal mass ejections (CMEs) by analyzing data from June to July 2023. Using key solar parameters such as solar wind pressure and energy transfer, we assess their impact on geomagnetic disturbances. The results show that high-speed CMEs and elevated solar wind pressures are associated with significant geomagnetic storms. Through the use of detailed calculations and graphical charts, we provide insights into space weather prediction.*

**Keywords:** *Magnetic fields, Sun: activity, Sun: coronal mass ejections (CMEs), Sun: flares, solar wind.*

## 1. Introduction

Space weather, driven by solar phenomena such as coronal mass ejections (CMEs) and solar flares, can significantly impact technology and infrastructure on Earth. CMEs are large expulsions of magnetized plasma from the Sun’s corona that interact with Earth’s magnetic field, leading to geomagnetic storms. These storms can disrupt communication systems, satellite operations, and power grids, making it critical to predict their occurrence and intensity.

This paper focuses on the relationship between CME characteristics, such as speed and angular width, and their effect on geomagnetic disturbances using data from June to July 2023. By calculating solar wind pressure and energy transfer, we aim to improve the accuracy of space weather predictions.

## 2. Data and Methodology

### 2.1 Geomagnetic Data

The dataset `magneturi_qarishxali.xlsx` contains hourly readings of geomagnetic disturbances over several days in June and July 2023. These variations in the Earth’s magnetic field help us assess the intensity of geomagnetic storms and relate them to solar events.

Date	01:00	04:00	07:00	10:00	13:00	16:00	19:00	22:00
2023-06-29	2	1	1	1	1	1	2	1
2023-06-30	1	2	2	2	2	2	3	3
2023-07-01	1	3	2	3	3	3	4	4

We analyzed more than 400 records.

### 2.2 CME Data

The `coronaluri.xlsx` dataset includes detailed information on coronal mass ejections (CMEs), such as appearance time, angular width, speed, and acceleration. These values allow us to calculate solar wind pressure and energy transfer to determine the potential impact on geomagnetic activity.

First C2 Appearance	Angular Width	Speed [km/s]	Acceleration [m/s <sup>2</sup> ]
2023-06-01 00:36:06	165	1565	-30
2023-06-01 14:12:05	14	189	13.4

We analyzed more than 1762 records.

### 3. Results

#### 3.1 Solar Wind Pressure and Energy Transfer Calculations

We calculated solar wind pressure and energy transfer based on CME speed and other parameters:  
Formula 1: Solar Wind Dynamic Pressure (P)

The solar wind dynamic pressure  $P$  is a key factor in geomagnetic activity and is calculated as:

$$P = 1.6726 \times 10^{-6} \cdot n \cdot V^2.$$

Where:

- $P$  = solar wind pressure (in nPa ),
- $n = 5 \text{ cm}^{-3}$  (assumed proton density),
- $V = \text{CME speed}$  (in km/s ).

For example, the CME on June 1, 2023, had a speed of 1565 km/s, and the calculated solar wind pressure was:

$$P = 1.6726 \times 10^{-6} \cdot 5 \cdot (1565)^2 = 20.45 \text{ nPa}$$

Formula 2: Energy Transfer ( $\epsilon$ )

The energy transferred from the solar wind to Earth's magnetosphere is calculated using the Akasofu parameter  $\epsilon$  :

$$\epsilon = 4\pi \frac{VB^2 \sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)}{\mu_0}.$$

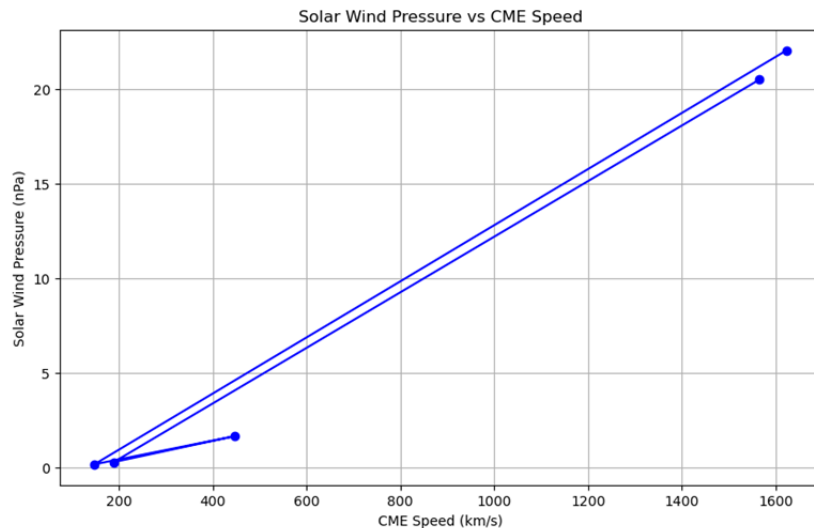
Where:

- $V = 1565 \text{ km/s}$  (CME speed),
- $B = 5 \text{ nT}$  (magnetic field strength),
- $\theta = 30^\circ$  (IMF clock angle),
- $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ .

The calculated energy transfer for the June 1, 2023 CME was:

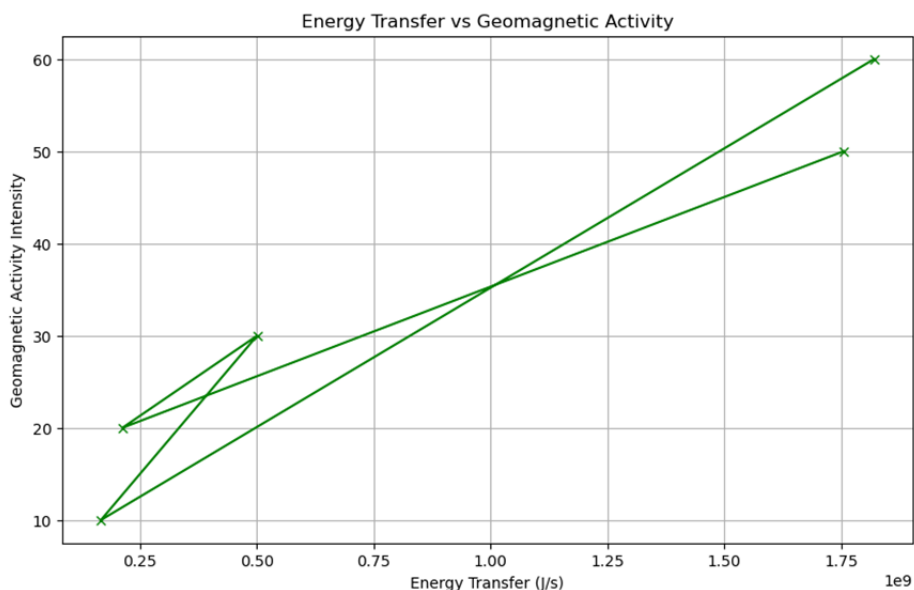
$$\epsilon = 3.89 \times 10^{11} \text{ J/s}$$

#### 3.2 Graphical Illustrations



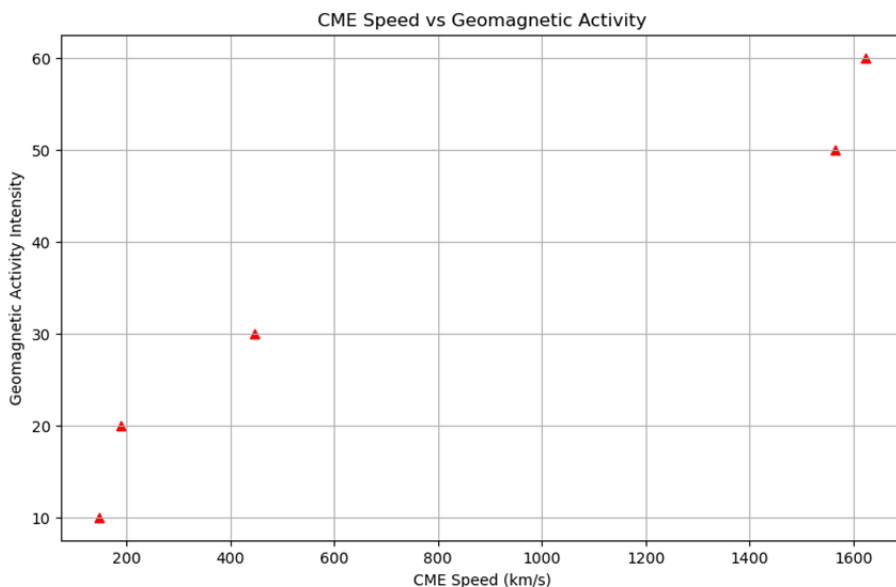
**Graph 1: Solar Wind Pressure vs. CME Speed**

The first graph shows how the speed of a CME correlates with the calculated solar wind pressure. Faster CMEs tend to produce higher pressures, which can drive more significant geomagnetic activity.



**Graph 2: Energy Transfer vs. Geomagnetic Activity**

The second graph illustrates how the energy transferred into Earth's magnetosphere relates to geomagnetic storm intensity. Higher energy transfer values ( $\epsilon$ ) are associated with stronger geomagnetic storms.



**Graph 3: CME Speed vs. Geomagnetic Activity**

This scatter plot demonstrates the relationship between CME speed and the severity of geomagnetic storms. Faster CMEs typically cause more intense disturbances.

#### 4. Discussion

The calculations and graphs confirm that CMEs with higher speeds and wider angular spreads tend to produce more severe geomagnetic storms. The calculated solar wind pressure and energy transfer values align with observed geomagnetic activity, showing a strong correlation between solar events and disturbances in Earth's magnetic field.

Notably, the CME on June 1, 2023, had the highest speed and angular width among the analyzed events, resulting in a significant geomagnetic disturbance on July 2, 2023 – July 2, 2024. These findings support the hypothesis that faster CMEs carry more energy into Earth's magnetosphere, causing stronger geomagnetic storms.

Our findings also highlight the importance of monitoring the IMF Bz component, as its southward orientation increases the transfer of energy from the solar wind into the magnetosphere, intensifying geomagnetic storms.

## 5. Conclusion

This study presents a comprehensive analysis of the relationship between coronal mass ejections (CMEs) and geomagnetic activity. By calculating solar wind pressure and energy transfer, we demonstrate the importance of these parameters in predicting geomagnetic storms. The results show that faster and wider CMEs pose a greater threat to Earth's magnetic field, emphasizing the need for continuous solar monitoring to mitigate the effects of space weather.

## References

- [1] Afandi N. et al. Solar Wind Disturbances and Geomagnetic Storms. // *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 10, 2018, 249.
- [2] Cliver E. Magnetic Reconnection and Solar Flares. // *Eos Trans. AGU*, 75, 1994, 569.
- [3] Edberg N. J. et al. Solar Wind and Magnetospheric Dynamics. // *MNRAS*, 462, S45, 2016.
- [4] Gopalswamy N. Coronal Mass Ejections and Geomagnetic Storms. // *Geosciences Letters*, 3, 1, 2016.
- [5] Rawat R. et al. Solar Wind Speed and Geomagnetic Activity. // *J. Atmos. Solar-Terrestrial Physics*, 72, 2010.
- [6] Siingh D. et al. Space Weather and Solar Activity. // *Surveys in Geophysics*, 32, 2011, 659.
- [7] Singh A., Mishra A., Singh R. The Impact of Solar Flares on Earth's Magnetosphere. // *Adv. Space Res.*, 52, 2013, 1427.
- [8] Singh A., Tonk A., Singh R. Solar Flares and Geomagnetic Storms. // *Indian J. Phys.*, 88, 2014.

## BASIC DATA FOR COMPILATION OF A SPECIAL MACROSEISMIC SCALE FOR ASSESSING THE INTENSITY OF HISTORICAL EARTHQUAKES IN THE ARMENIAN UPLAND

\*Nazaretyan S.N., \*\*Mirzoyan L.B., \*Nazaretyan S.S.

*\*Territorial Survey for Seismic Protection of Ministry of Internal Affairs of the Republic of Armenia*

*E-mail: snaznssp@mail.ru*

*\*\*Yerevan State University, Yerevan, Armenia*

*E-mail: mirnik6@gmail.com*

**Abstract.** *To compile a macroseismic scale for assessing the intensity of historical earthquakes in the Armenian Uplands, it is proposed to use two groups of the consequences of modern large earthquakes: characteristic damage to the buildings of Armenian churches and seismogeological effects. These consequences are more often found in written information about historical earthquakes of the Armenian Uplands and are quite reliable indicators for determining the degree of intensity.*

**Key words:** *intensity historical earthquakes, damage church buildings, seismogeological effects.*

### Introduction

Preserving heritage in the form of written historical data on large earthquakes is important for determining the main parameters of strong earthquakes. However, it is necessary to have a special macroseismic scale for assessing the intensity of historical earthquakes for this, based on the consequences of earthquakes recorded in written evidence. Corentiy macroseismic scales use three groups of data of impact of an earthquake on objects to estimate intensity: damage to structures, geological objects and people and household items. Unfortunately, currently widely used scales do not include damage to historical monumental buildings depending on the intensity of the historical earthquakes. Types of geological consequences, the so-called seismogeological effects, strongly depend on local natural conditions (geology and geomorphology). The third group of impact-on people and household items, is not so significant [2,3,7]. In this regard, written information about strong earthquakes in the Armenian Uplands for more than 2000 years is unique [4,9,10]. They are preserved in many manuscripts of the Yerevan Matenadaran (research institute for ancient manuscripts).

Therefore, in order to use written historical evidence on the Armenian Uplands to determine the main parameters of past earthquakes, it is first necessary to create a special macroseismic scale based on the damage to historical buildings and the seismogeological effects [4,8]. Information about the historical earthquakes of the Armenian Upland covers a period of time of more than 2000 years. Moreover, the discovered written data are unique in that there are no long periods of their absence, which is very important for studying the patterns of their distribution over time. But despite this, three obvious periods of time with no or little evidence of earthquakes stand out: 550 BC-735 AD; 736-850; 13.20-15.30. For this is the absence, non-preservation of historical information, or its non-detection. Thus, in order to supplement the catalogues of historical earthquakes with new data, it is necessary to continue the search for new primary sources both in manuscripts in Armenian and other languages. Important data can be found in the surviving handwritten monastic journals [10].

Historical evidence of earthquakes on the territory of Armenia contains different data on their consequences. But for the purposes of this article, two groups are important: damage to church buildings and seismic-geological effects.

**The main goal** of this article is to separate from the consequences of modern large earthquakes in territory of Armenia those are described in the historical evidence of earthquakes in the Armenian Uplands (damage to buildings and seismogeological effects) and which can be "indicators" of the of intensity level assessment.

These consequences (effects) may be of basic importance for the creation of a special macroseismic scale for assessing the intensity of historical earthquakes.

### **Damage to Armenian church buildings during modern (XX century) earthquakes**

In result of inspection of 50 church buildings served the basis for compiling the table of most typical damages of Armenian churches (Table 1) depending on the intensity of 1988 Spitak earthquake [7,9]. The intensity in the church area was determined on the base 1:200,000 scale isoseismal map of the 1988 Spitak earthquake, which was built on the damage degree of the stone 1-2-story, widespread, houses. Both the technical condition of the Armenian churches and their constructive type, the engineering-geological and soil conditions of the building area, etc., were studied in detail. Damage before the 1988 Spitak earthquake was specially studied, that is, due to the 1926 Leninakan earthquake with an intensity of 8-9 points, based on photographs, written data, descriptions of local residents and specialists, and a detailed study of cracks. The change in the intensity of the Spitak earthquake was calculated depending on the local conditions [7].

It is known that most of the church buildings damaged by earthquakes are domed, and the damage or collapse of the dome is very important information for assessing the intensity of the earthquake. Along with this, we have studied church buildings without a dome, as well damage is also important for estimating the intensity of earthquakes.

The table demonstrates that the numbers of observed same-type damage are rather stable. This enabled determining the prevailing intensities (number of events more than 2) that could have caused the considered type of damage in the church building and indicating the corresponding intensity value in the last column of the Table 1.

**Table 1.** Most typical damages of the Armenian churches due to the 1988 Spitak earthquake.

№	Most typical damages of churches	Number of events		Prevailing intensity by EMS-98
		Churches with domes	Churches without domes	
1	Complete destruction	1	3	X
2	Strong destruction (more than 50 %); Fall of the central dome	2	3	IX –X
3	Partial destruction (less than 50 %); Strong damage (presence of 4 and more through cracks on height of all walls).	3	3	IX
4	Some through cracks (2-3) on all height of church;	3	3	VIII-IX
5	Individual through crack on all height of church; Through cracks in separate parts of church.	6	5	VIII
6	Presence of small cracks, fall of separate stones.	2	5	VII-VIII
7	Absence of appreciable cracks	6	3	VII

**Note:** The intensities of 1988 Spitak earthquake in numbers on the territory of church is determined in the map isoseismals [7] and ground conditions.



## Geological consequences of an earthquake (seismogeological effects)

To compile a list of probable seismogeological effects, depending on the seismic intensity for a certain territory, the most reliable way is to study the effects of modern large earthquakes in a given territory. Because the occurrence of seismogeological effects depends not only on the intensity of the earthquake, but also on local geological and geomorphological conditions [1,3,4,5]. On the territory of Armenia in the 20th century there were 4 earthquakes with an intensity of 7 or more unit: 1926 Leninakan (M=5.8, I=8-9, h=5 km), 1931 Zangezur (M=6.4, I=8-9, h=16 km), 1968 Zangezur (M=5.0, I=7-8, h=10 km) and 1988 Spitak (M= 7.0, I=10, h=10 km). Unfortunately, detailed data on seismogeological effects are available only for the Spitak earthquake. For the other three earthquakes the data is very scarce. Multilateral detailed field studies were not carried out on the first two earthquakes, and the 1968 Zangezur earthquake was not strong [5,6]. Therefore, in this article we are forced to rely on the geological consequences of the 1988 Spitak earthquake [7,10].

**Table 2.** The main seismogeological effects of the 1988 Spitak earthquake, depending on the intensity points [10].

N	Seismogeological effects (quantitative datas are indicated in brackets)	Earthquake intensity zone according to EMS-98
1	Formation of a main fault on the earth surface (total length 37 km, vertical amplitude up to 2 m and horizontal amplitude up to 1 m).	10
2	Formation or activation of large seismic-gravitational structures with the movement of rock masses (weight 2-3 million tons, moving distance 100 m along a slope of 20 <sup>0</sup> . Depth of the ravine formed in the rear – 25 m, width a – 50 m, length – 350 m. The height of the front "wall" is 5-7 m.).	10
3	Rockfalls (volume of stones rolling down from a height of up to 6-10 m <sup>3</sup> ).	10
4	The formation of electrical sparks in the zone of a seismogenic fault, as a result of which dry grass ignited (the width of the ignition zone is up to 10 m).	10
5	Eruption of sandy pulp into the surface along cracks .	10
6	The formation of a pond due to the activation of landslides (pond dimensions 10x30 m, depth up to 2 m).	10
7	Fragmentation of the loose cover layer over seismogenic faults (width zones 10-15 m).	9, 10
8	Soil liquefaction ("islands" with a radius of 5-10 m).	9, 10
9	Formation of small landslides, rockfalls, soil liquefaction.	9
10	Activation of small landslides, numerous small rockfalls.	8, 9
11	The appearance or disappearance of springs. "Boiling" of water in rivers. Disruption of the flow (water balance) of springs (up to 50%). Changes in water level in wells (up to 60 cm).	8, 9
12	Minor changes in the landscape (rockfalls, landslides, cracks, activation of small landslides, etc.).	8
13	Virtually no noticeable geological consequences.	7

**Note:** 1. Intensity of the 1988 Spitak earthquake in the area of the church is determined based on the isoseismals map and the seismic category of soils [7].

## Conclusions

1. From written evidence of historical earthquakes in the Armenian Uplands, to compile a special macro-seismic scale for assessing the intensity of historical earthquakes, two groups of modern earthquakes consequences were selected: damage to buildings of Armenian churches and seismogeological effects.

They are the most reliable indicators of the intensity of historical earthquakes assessment. To establish relationships between the degree of intensity and different types of consequences (effects), it is proposed to use statistical data on the consequences of modern earthquakes that have been studied in detail and in many directions.

2. Characteristic damage to Armenian churches as a result of large modern earthquakes are fairly stable indicators of the degree of intensity (Table 1), for the following reasons: the uniformity and seismic resistance of church building structures (cross-domed plan of the central hall, three-layer stone walls with lime mortar, the presence of anti-seismic structural elements, etc.), careful selection of the construction site, high quality construction, etc.
3. A compiled list of seismogeological effects depending on the degree of intensity of large earthquakes (Table 2), which can be applied to other regions with a similar geological and geomorphological structure. Most effects, especially in the 10 and 9 intensity zones, are reliable for determining intensity levels. For zones with intensity up to 7 units, there are practically no noticeable geological consequences.
4. The developed approach and the specific results obtained can be useful in compiling special macroseismic scales for assessing the intensity of historical earthquakes in other regions.

## References

- [1] Matossian A.O., Baghdasaryan H., Avagyan A., Igityan H., Gevorgyan M., Havenith H-B. A New Landslide Inventory for the Armenian Lesser Caucasus: Slope Failure Morphologies and Seismotectonic Influences on Large Landslides. //Geosciences 10(3),111, 2020, 12 p.  
<https://doi.org/10.3390/geosciences10030111>
- [2] European Macroseismic Scale-1998. Ed. G. Grunthal. Luxembourg, 1998, 101 p.  
[https://www.franceseisme.fr/EMS98\\_Original\\_english.pdf](https://www.franceseisme.fr/EMS98_Original_english.pdf)
- [3] Lin G., Wang J. Compilation of Chinese historical earthquake data by building up a database system based on seismic intensity points. //Acts Seismologica Sinia 34(1), 2012, pp. 118–124 (in Chinese with English abstract), doi: 10.3969/j.issn.0253-3782.2012.01.012
- [4] Guidoboni E., Traina G. A new catalogue of earthquakes in the historical Armenian area from antiquity to the 12th century. //Annals of Geophysics, v. 38, no. 1,1995, pp. 85–147.  
<https://www.annalsofgeophysics.eu/index.php/annals/article/view/4134>
- [5] Gorshkov G.P. Geological conditions of the Zangezur earthquake on April 27. 1931. // Proceedings of Seismological Institute of the USSR Academy of Sciences, No. 31, 1933, 35 p. (in Russian).  
<http://higeo.ginras.ru/view-record.php?tbl=person&id=877>
- [6] Lebedev I.P. Leninakan earthquake of 22 October – September 1926. // News of the USSR Academy of Sciences. VI series, v. 21, issue 5, 1927, pp. 887–912 (in Russian).  
[https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jmid=im&paperid=5500&option\\_lang=rus](https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jmid=im&paperid=5500&option_lang=rus)
- [7] Nazaretyan S.N. The Seismic Hazard and Risk of territories of cities located in the zone of 1988 Spitak earthquake. // Publishing house “Gitutiun” of National Academy of Sciences of Armenia, Yerevan. 2013, 205 p. (in Russian).
- [8] Nazaretyan S.N., Aramyan Sh.A., Tataryan V.H., Tatoyan S.S. Historical earthquakes in Armenian Uplands as a database for the development of applied seismology. // Crisis management and technologies. N 1 (20). 2020, pp. 179-190, (in Russian). <http://csiam.sci.am/ru/9481476E>.
- [9] Nazaretyan S. New Preliminary Macroseismic Scale Based on the Analysis of Damage of the Armenian Churches. // Modern Environmental Science and Engineering, January, vol. 6, N 1. Academic Star Publishing Company, 2020, pp. 207-215. Doi:10.15341/mese(2333-581)/01.06.2020/001
- [10] Nazaretyan S.N., Haroutunian R.A. Historical written heritage of large earthquakes as the basis for solving problems of engineering seismology (a case study of evidence Armenian Uplands). // 50-Year Anniversary of the 1975 Haicheng Earthquake. Special issue in Earthquake Science (EQS), 2024, 15 p., (in press).

## IMPORTANT FEATURES OF THE METHODOLOGY FOR ASSESSING THE MAXIMUM SEISMIC RISK OF LARGE TERRITORIES (BASED ON THE EXAMPLE OF ARMENIA)

\*Nazaretyan S.N., \*\*Mirzoyan L.B.

*\*Territorial Survey for Seismic Protection of Ministry of Internal Affairs of the Republic of Armenia*

*E-mail: snaznssp@mail.ru*

*\*\*Yerevan State University, Yerevan, Armenia*

*E-mail: mirnik6@gmail.com*

**Abstract.** *The features of the developed methodology for assessing the main components of the maximum seismic risk of a large area. Risk assessment is carried out on the basis of data on seismic hazard, vulnerability of buildings and structures, population size, as well as some secondary consequences of an earthquake. The methodology uses the current regulatory seismic hazard map, the zones of which are accepted as cells for risk assessment. Using the developed methodology, risk maps of buildings, population and infrastructure were compiled. It is recommended that the leading place is given to statistical data on the consequences of large earthquakes and the results of their analysis.*

**Key words:** *seismic hazard, vulnerability, risk.*

### Introduction

There are few methods for assessing the risk of a large territory, especially the territory of a state. In practice, the seismic risk of a specific object (settlement area, critical structure, small urbanized area, etc.) is more often assessed, for which numerous methods have been developed and used. For this purpose, the territory of the facility is divided into cells, in most cases in the form of squares with a side of tens or hundreds of meters, seismic scenarios are selected (earthquake, acceleration attenuation model), calculations of the behavior of buildings and structures in the cells are carried out, and different types of losses are assessed. When developing a methodology for assessing the risk of a large area, it is imperative to use the principles and approaches of the developed methods for specific objects, especially for urban areas. In this work, we widely used both well-known methods for assessing the risk of cities, and the methods we developed for assessing the risk of the territory of cities in Armenia [1,2,5,6]. For certain purposes, for example, to understand the level of risk of the territory of a state or its individual regions, an assessment of the possible consequences in any area during expected earthquakes of maximum magnitude is required. The need for a risk assessment taking into account the maximum seismic hazard of the entire territory according to the regulatory map of general seismic zoning is also important. Such a seismic risk can be conventionally called **the maximum seismic risk** of the territory. Each large territory has features of seismic hazard and risk, which are important when developing the methodology. In our opinion, it is advisable to develop a methodology for territories with complex hazard structures, where the development is represented by seismically vulnerable buildings and structures. Taking this into account, we have chosen the territory of the Republic of Armenia. **The purpose of** this work is to present the main features of the methodology we have developed for assessing the maximum seismic risk. The methodology evaluates the following components: buildings, population (human losses) and infrastructure. When developing the methodology, an important

place was given to the reasons for the high vulnerability of buildings and structures, with which human losses are closely associated. The reasons for the high vulnerability of buildings are numerous, of which the most important are the following, which significantly affect the level of risk: a) underestimation of the level of seismic hazard; b) poor quality of design and construction; c) the factor of “aging” and violation of the rules of operation of buildings and structures; d) high level of urbanization. To ensure uniformity of hazard values throughout the territory of Armenia, the acceleration values of seismic zones on the 2020 map were converted to a point on the EMS-98 scale.

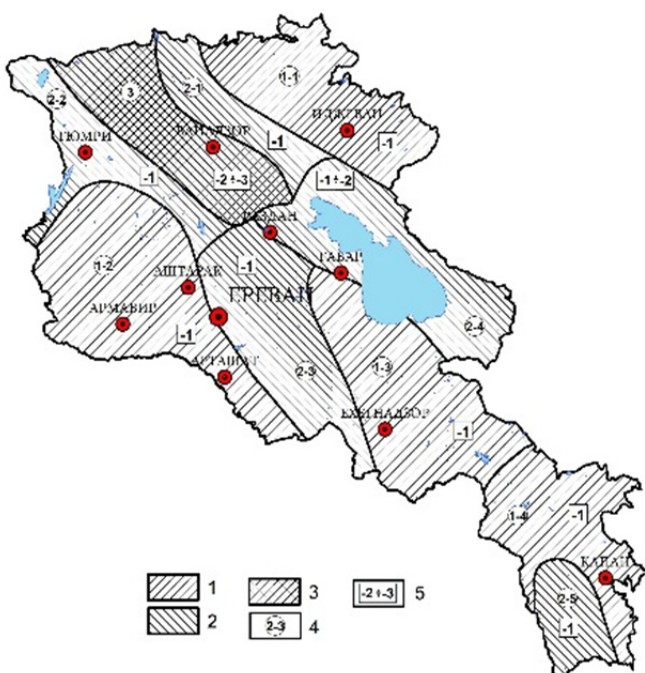
## Main results and their discussion

**Features of the developed methodology.** The logical diagram of the developed methodology is as follows: reasonable division of the territory into cells for risk assessment; assessment of the vulnerability of the main types of buildings, taking into account factors influencing vulnerability and assessment of the maximum risk of damage to buildings in each cell; assessment of human losses in populated areas of each cell due to severe damage to buildings (degrees 4 and 5 according to EMS-98); generalization of the results of damage to buildings and the number of probable victims by cell; risk assessment of the infrastructure of the entire territory; mapping the main components of maximum risk for the entire territory.

According to this scheme and sequence, the main content of this article is presented.

**Cells for seismic risk assessment.** As cells for risk assessment, it is proposed to take seismic zones with different levels of seismic hazard according to the current regulatory map of general seismic zoning (GSZ) [2]. It is advisable to divide some Cells that occupy large territories into smaller parts based on its size, homogeneity of data for risk assessment, etc. Such division of the territory of the Republic allows us to reasonably take into account the modern seismic hazard and the design seismicity of existing buildings and structures.

**Seismic hazard of the cell territory.** Practice shows that seismic hazard (level, size and location of zones) changed over time, mostly grew. Unfortunately, buildings and structures were designed based on low estimates. It is advisable to present the seismic hazard in terms of intensity according to the EMS-98 macro-seismic scale. For example, the seismic hazard of the territory of Armenia in 1937 was estimated at 6-8 points, and in 2017 – 8, 9 and 9 points or more [2]. As an example, Figure 1 shows compiled map of understatement values (underestimation) seismic level dangers in relation to the 2017 hazard map of Armenia.



**Figure 1.** Regulatory seismic hazard map of the territory of the Republic of Armenia for 2020 [2] indicating the average value of “underestimation” of the level of seismic intensity according to GSZ maps for 1957-1989. Seismic hazard in horizontal ground accelerations (intensity in points): 1 – 0.30g (8 points); 2 – 0.40g (9 points); 3 – 0.50g (more than 9, up to 10 points). 4 – numbers of sectors and subsectors, for risk calculation; 5 – values of underestimation of intensity in points in the selected sectors and subsectors.

**Seismic vulnerability of buildings.** When assessing the vulnerability of buildings and structures located in cells, along with data on their structural types, special attention must be paid to all the main reasons that reduce their seismic vulnerability, outlined in the introduction. When assessing the seismic vulnerability of transport lines and life support lines, the level of danger of both the entire territory and individual cells was taken into account. It is difficult to assess the vulnerability of buildings and structures built with violations of construction technology and the use of materials that do not meet standards. If poor design, careless operation, etc. are added to these, the vulnerability assessment becomes even more difficult. Therefore, as a real solution to the problem, we propose to provide statistical data on their damage due to strong earthquakes as a basis for assessing the seismic vulnerability of different types of buildings and structures. For example, for the territory of Armenia it is advisable to use data on the consequences of the 1988 Spitak earthquake, which is considered one of the most comprehensive and detailed earthquakes in the world [1,5]. For this purpose, the number of population and buildings, their number of storeys and structural type, the number of 1-3 storey buildings, the seismic vulnerability of all other buildings, etc. were taken into account.

**Estimation of human losses.** It is recommended to use the following estimated data to determine the number of victims: a) in one destroyed apartment of an multiapartment building – 1.5 people during the day and 3.0 people at night; b) in destroyed 1-3 storey stone houses – during the day 0.3% of the total number of inhabitants of these houses, and at night – 1%. The number of seriously wounded who must be hospitalized is proposed to be determined based on the number of victims. To do this, the number of victims is multiplied by a factor of 1.5 [1,5]. For other buildings, presenting such data is difficult, because they require an individual approach.

**Seismic vulnerability assessment of infrastructure** (transport highways and other life support lines) is mainly damaged due to strong ground shaking and the activation of such geological phenomena as faults, seismo-gravity formations (landslides, rockfalls, liquefaction and subsidence of the soil), etc. It is advisable to assess the risk of infrastructure throughout the entire territory and, if possible, by cell. For this purpose, it is better to compare infrastructure maps with maps of standard seismic hazard and hazardous geological phenomena [3,4,5]. The impact on the infrastructure of seismic-gravity formations and surface faults is especially significant (Figure 2). When developing a methodology for assessing the maximum risk of the territory of Armenia, much attention was paid to the following infrastructure lines: railways and highways, high pressure gas supply lines, water supply lines, high voltage power supply lines, telecommunication lines (telephone trunk lines, fiber optic cables for the Internet). When assessing their vulnerability, it is more effective to use statistical data on the geotechnical consequences of strong earthquakes, preferably in a given area. According to statistical data, earthquakes are more often infrastructure lines receive noticeable damage at an intensity starting from 8 units, and dangerous geological phenomena appear and cause serious damage to trenches mainly at an intensity 9 points or more [1].

**Table 3.** Estimated data on damage to the infrastructure of Armenia with an earthquake intensity of 8-10 points, obtained on the basis of a generalization of geotechnical data on the Spitak earthquake of 1988 [1,5].

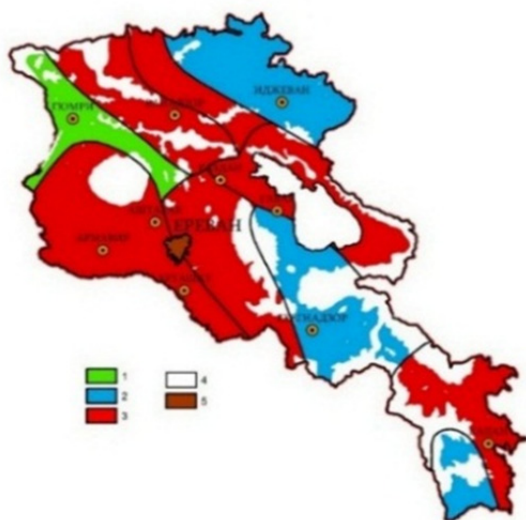
N	Life support lines	Damage level at earthquake intensity		
		8 points	9 points	10 points
1.	Water supply	weak	average	strong
2.	High voltage lines power supply	weak	average	strong
3.	Pipelines gas supply high pressure	weak	strong	strong
4.	Cable lines telecommunications	weak	strong	strong
5.	Railway	weak	weak	average
6.	Roads	weak	weak	average

## Maps of the main components of maximum seismic risk

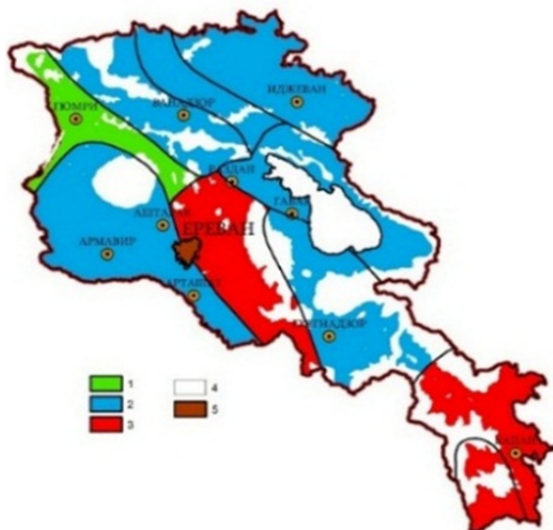
As an example, below is a map of the maximum seismic risk **of residential buildings, population and infrastructure** territory of Armenia (Figures 2,3,4).

**Table 4.** Some basic data on cells and seismic risk assessment results (fragment).

Risk assessment cells				Population by data for (2015)		Number of residential buildings cities (2015)		Approximate number of residential buildings in villages, (2015)	The number of seriously damaged is many kvar shooting range buildings and/apartments of cities	Percentage of damaged buildings/apartments from the total number quality	Number of casualties in cells ( day /night)		
Number on the map (Fig.1)	Plo sparing (1000 k m <sup>2</sup> )	Seismic level chemical danger tee according to 2020 standards. (in points) Oh)	Unders timation is dangero us you in 1957-1989 (in points)	If quality city who in the populati on nia	Raft number, people/ km <sup>2</sup> By cells	Many Apartment <b>building</b> /apartments	Residential buildings and mansions (1-3 floor)				Victims to the city duh	Victims in villages	Total count casualties and percentage of total population
1-1	3.2	8	1	50000	short	562 / 12664	8101	18000	51/ 1850	9.1% /14.6%	2775/ 5550	360 / 720	3135/ 5550 6.3%/11.1 %

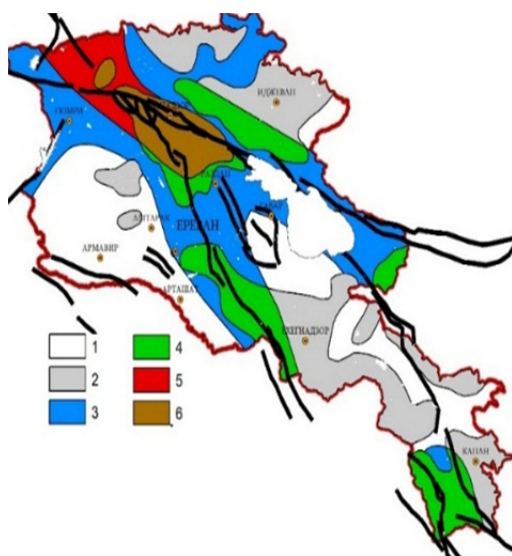


**Figure 2.** Map of the maximum seismic risk of residential buildings on the territory of Armenia. The risk level is determined based on the percentage of severely damaged apartments (4 and 5 degrees) of their total number: 1 – Below average (number of severely damaged apartments up to 10%); 2 – Average average (7-15%); 3 – High (more than 16%); 4 – There is no risk; 5 – Intense risk (in UNISDR terminology, high risk associated with exposure to large crowds of people and areas, which can lead to disasters).



**Figure 3.** Map of the maximum seismic risk of the population (human losses) of the territory of Armenia. Risk level: 1 – Below average (irretrievable losses at night up to 15%); 2 – Average (16-20%); 3 – High (more than 20%); 4 – There was no risk; 5 – Intense risk.





**Figure 4.** Map of the maximum seismic risk of the infrastructure of the territory of Armenia. Risk zones: 1 – Low (with a seismic intensity of 8 units-0.3g, with virtually no seismo-gravity formations /SGF/); 2 – Below average (8 units and with widespread SGF); 3 – Medium (9 units-0.40g, without widespread SGF); 4 – Above average (9 units and with wide distribution of SGF); 5 – High (9-10 units-0.4-0.5g and without widespread SGF); 6 – Highest (9-10 points and with widespread SGF).

## Conclusions

1. The main features of the developed methodology for assessing the maximum seismic risk of a large territory are presented, which is based on data on seismic hazard in the form of a regulatory map of seismic zones, the vulnerability of buildings and infrastructure lines, the number, distribution and vulnerability of the population in populated areas. For this purpose, the territory is divided into cells corresponding to seismic zones (or their individual fragments) of the standard probabilistic map of general seismic zoning.
2. To quantify the main components of risk, assessment data on the vulnerability of buildings, infrastructure and the population are proposed, obtained mainly as a result of the analysis of statistical data on the consequences of devastating earthquakes in the world, especially the Spitak earthquake of 1988. It is important that these assessment data take into account a number of local conditions (geological, seismic, development features, structural types and seismic vulnerability of buildings and structures, vulnerability of the population, etc.), which allows for a more reliable risk assessment.
3. As a result of testing (application) of the developed methodology, maps of the three main components of the maximum seismic risk in Armenia were compiled as an example: buildings, population and infrastructure.

## References

- [1] Nazaretyan S.N. Seismic hazard and risk of the territory of cities in the zone of the 1988 Spitak earthquake. // Gitutyun NAS RA. Yerevan, 2013. 212 p. (in Russian).
- [2] Nazaretyan S.N. Main features of the new methodology for seismic risk assessment of Armenian cities. // Seismic Instruments, 56, 2020, pp. 317 -331. <https://link.springer.com/article/10.3103/S0747923920030093>.
- [3] Nazaretyan S.N., Harutyunyan R.A., Mirzoyan L.B. Seismic risk of the infrastructure of the territory of Armenia. // Scientific notes of Yerevan State University. Geology and Geography. 57 (3), 2023, pp. 90-105, (in Russian). <https://doi.org/10.46991/PYSU:C/2023.57.3.090>
- [4] Matossian A.O., Baghdasaryan H., Avagyan A., Igityan H., Gevorgyan M., Havenith H-B. A New Landslide Inventory for the Armenian Lesser Caucasus: Slope Failure Morphologies and Seismotectonic Influences on Large Landslides. // Geosciences 10(3),111, 2020, 12 p. <https://doi.org/10.3390/geosciences10030111>
- [5] Ho C.L., Haji-Hamou T.A, Nilsson M. AIS Based Zoning on Infrastructure Damage Related to Seismically Triggered Landslide Risk. // Proc. of Conf. Seismic Zoning, Nice, France. V.1, 1995, pp. 142–149.
- [6] Project for Seismic Risk Assessment and Risk Management Planning in the Republic of Armenia. // JICA, Final report, 2012, 125 p. [https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12086054\\_01.pdf](https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12086054_01.pdf)

## REGULARITY OF PERIODS OF TECTONOMAGNETIC PRECURSORS

\*Hovhannisyan S.R., \*\*Movsisyan A.D.

\*Territorial Survey for Seismic Protection of Ministry of Internal Affairs of the Republic of Armenia

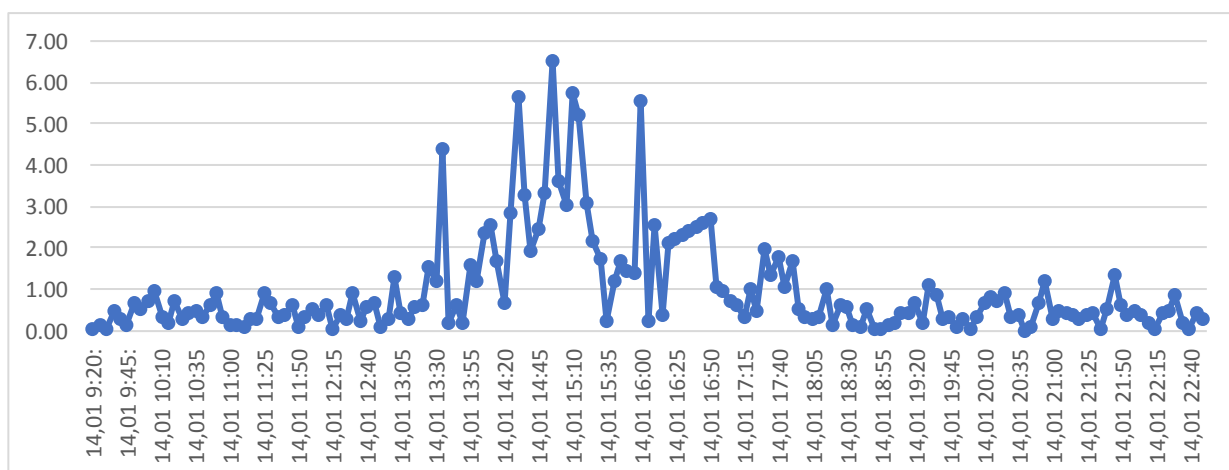
\*\*Territorial Survey for Seismic Protection of Ministry of Internal Affairs of the Republic of Armenia

**Abstract.** The variability of the periods of earthquake precursors, which manifest themselves during the development of the source, has been studied. It was found that with the increase in the next number of the precursor, there is a natural increase in the period of the precursor, which can be used to determine the date of the earthquake.

**Key words:** earthquake, source, tectonomagnetic field, precursor periods.

Using the formulas obtained in [1], it is always possible to determine the values of magnitude and hypocentral distance if we have the values of the parameters of the tectonomagnetic precursor of a given source being formed. But it is impossible to determine the date of an earthquake unless you have a history of the formation of the source.

The date can only be determined based on data from the harbingers of the outbreak, which appear from time to time. Since it is assumed that the duration of periods of precursors depends on the frequency of occurrence of precursors, there is a need to study the duration of periods from the first to the last precursor. This assumption is based on the following reasoning. With increasing deformation and elastic stresses inside the fault, a process of increasing density develops, with which the friction force increases, which complicates sliding between neighboring tectonic blocks. An interfering factor for free sliding is the hooking of rough near-vertical surfaces of tectonic plates. As a result, catch zones are formed – future earthquake hypocenters. Further increase in deformation and tectonic stress will lead to fragmentation within the fault. Earthquakes with small magnitudes occur. This process is repeated on larger protrusions located on the near-vertical surfaces of the blocks and continues until the moment of the main shock. The time it takes to overcome obstacles, of course, increases, as the areas of sliding surfaces increase. The response of this process should be observed on curves constructed from the values of the periods of tectonomagnetic precursors.

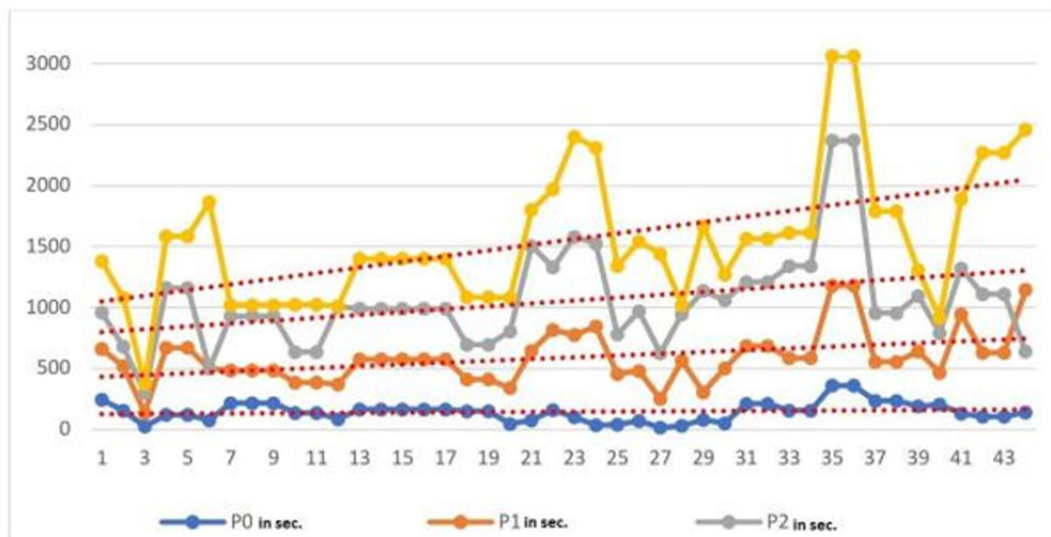


**Fig. 1.** A bunch of values of the rate of change of the tectonomagnetic field. For clarity purposes, the graph is plotted using modular speed values. (Geomagnetic station “Saragyugh”).

To verify and confirm the above, the periods and durations of fluctuations of the precursors were studied, which repeat each other in composition and behavior of variability. Precursors of an earthquake with  $M=4.9$ , 02/13/2021. over the period of time 07/21/2019 – 02/12/2021 appeared 44 times, the response of which is observed in the form of separate beams with increased amplitudes of the rates of change. Against the background of speed variations, they differ not only in maximum values, but also in periods. (Fig. 1) shows the twenty-ninth precursor of the noted earthquake, discovered on January 14, 2021. This beam, or precursor, is observed in the time interval 1250-1850. Against the background of variations of  $\pm 0.5$  nT, five amplitudes stand out with their increased values, namely (1300, 1430, 1455, 1510 and 1600). Statistics and experience allow us to make the statement that they are the tectonomagnetic effect of various emerging earthquake sources, which during the period (1250-1850) are in active dynamics.

It should also be noted that in Fig. 1 all the point values are the tectonomagnetic effect of a certain emerging source.

Studies have shown that the beam of one precursor includes many tectonomagnetic waves with different amplitudes, which arise and end during the entire period of existence of the tectonomagnetic precursor. To construct time graphs of tectonomagnetic waves, data from beams of all precursors (44 precursors) of the earthquake with  $M=4.9$ , 02/13/2021 were used (Fig. 2).



**Fig. 2. Time graphs of tectonomagnetic waves in the compositions of earthquake precursors with  $M=4.9$ , 02/13/2021. The vertical axis is time in minutes, and the horizontal axis is the numbers of precursors. According to the Saragyugh geomagnetic station.**

The curves are plotted based on the maximum VT values. The first curve (lower-P0) has a maximum value of  $VT=2nT$ ; the second (P1) is  $4nT$ , the third (P2) is  $6nT$  and the fourth (P3) is  $8nT$ .

As can be seen from Fig. 1, the values of the periods of different oscillations change proportionally, and a certain direct correlation is observed between the curves, which can be explained by a common source of influence. It is assumed that the common source for all vibrations is the regional stress-strain state. It can also be seen that as the number of the precursor increases, or as the date of the earthquake approaches, the values of the periods increase. The intensity in the form of increased amplitudes is increased at the initial stage, in the middle and at the end of the precursor. Linear correlation shows that there is a general increase, which increases with increasing period values. This is clearly expressed in the curves (P3), which are distinguished by high values of the periods included in the beam.

To estimate the parameters of the resulting earthquake sources, it is necessary to monitor the development of the source formation, during which certain parameters of the source can change within the acceptable error.

Thus, summarizing the presented material, we can say that:

1. The first step to detect the precursors of any emerging source is to find and isolate data bundles from the general background of variations in the data on changes in tectonomagnetic field velocities.
2. Estimation of amplitude values included in the beam.
3. Using the well-known formula  $M=2.7964*\ln VT -1.2367$  [1], calculate the magnitude of the resulting source of the expected earthquake. This calculation is carried out for all detected beams.
4. In the Po interval (for example, in Fig. 1 the interval 1250-1850 is taken) we determine the average value of VT, which is the local component of the tectonomagnetic field created by the source.
5. Using the formula  $Ro=33.4*M/TELav$  [1], the hypocentral distance from the observation point is calculated.
6. Time graphs are constructed following the example in Fig. 2.
7. After the appearance of the last minimum (in Fig. 2 this is the 40th point), it is necessary to monitor variations in the rates of change in the tectonomagnetic field, the values of which tend to zero. This is where you should expect an earthquake.

## References

- [1] Hovhannisyan S. R., Petrosyan K. K., Makaryan A. G., Gevorkyan A. A. Determination of the hypocentral distance of the earthquake source from the observation point. // "Dangerous natural and man-made processes in mountain regions." Vladikavkaz 2022 Art. 219-223. Hovhannisjan S. R., Makarqn A. H., Geologikal and Geographical Sciences YSU, 2022., 155-160 pp.

## TECTONIC MODEL OF THE GEORGIAN PART OF LESSER CAUCASUS OROGEN USING SEISMIC PROFILE

\*Alania V., \*Enukidze O., \*\*Razmadze A.

\*M. Nodia Institute of Geophysics, I. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia

\*\*A. Janelidze Geological Institute, I. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia

**Abstract.** *The Lesser Caucasus double wedge orogen accommodates the crustal shortening due to the far-field effects of the collision between the Arabian and Eurasian plates [1-4]. Subsequent convergence of the Arabian and Eurasian plates during the late Alpine time caused extensive intracontinental deformation in the Lesser Caucasus. The sedimentary cover of the LC retro-wedge is commonly > 7 km thick. It is predominantly composed of shallow and deep marine rocks and is divided by pre- and syn-orogenic sequences [5]. Pre-orogenic sequences consist of Paleozoic and Jurassic- late Eocene shallow and deep marine rocks strata. The Paleozoic rocks of the Khrami massif are made up mainly of late Paleozoic (Variscan) granites and early Paleozoic gneisses, diorites, and tonalites [6]. The low-temperature thermochronologic evolution of the Achara-Trialeti back-arc basin during the Neogene refers to Miocene cooling [3, 4]. Here we show a new tectonic model for the Georgian part of the Lesser Caucasus orogen by integrating field observations and interpreted seismic data. The seismic profile reveals the presence of the Khrami basement thrust sheet, crustal-scale duplex, fault-related folds, triangle zones, passive-roof duplex, and passive-roof and passive back thrusts. Dominant structural styles of the compressional structures are related to multiple detachments. The structural inversion is complicated by the interaction between several detachments from the mid-crustal detachment to the upper-most detachment along the late Eocene shales. According to the seismic profile, the crustal-scale duplex was recognized under the basement thrust-sheet which propagates northward along the early Jurassic shale layers. Triangle zones are interpreted as simple and multiple fault-bend fold wedges models and are a good example of ramp-dominated triangle zones. Pliocene-Quaternary lava flows are involved in the compressional deformation and are related to an out-of-thrust sequence of the Khrami basement thrust-sheet.*

**Keywords:** *Lesser Caucasus; Seismic profile, Basement thrust-sheet, Crustal-scale duplex*

### References

- [1] Alania V. et al. Growth structures, piggyback basins and growth strata of Georgian part of Kura foreland fold and thrust belt: implication for Late Alpine kinematic evolution. // Geol. Soc. Lond. Spec. Publ. 428, 2017, pp. 171-185.
- [2] Cavazza W. et al. Two-step exhumation of Caucasian intraplate rifts: a proxy of sequential plate-margin collisional orogenies. // Geoscience Frontiers 15, 2024, 101737.
- [3] Gusmeo T. et al. Tectono-thermal evolution of central Transcaucasia: Thermal modelling, seismic interpretation, and low-temperature thermochronology of the eastern Adjara-Trialeti and western Kura sedimentary basins (Georgia). // J. Asian Earth Sci, 237, 2022, 105355.
- [4] Gusmeo T. et al. Structural inversion of back-arc basins-The Neogene Adjara-Trialeti fold-and-thrust belt (SW Georgia) as a far-field effect of the Arabia-Eurasia collision”, Tectonophysics, 803, 2021, 228702.
- [5] Alania V. et al. Interpretation and analysis of seismic and analog modeling data of triangle zone: a case study from the frontal part of western Kura foreland fold-and-thrust belt, Georgia. // Frontiers in Earth Sciences, 11, 2023, 1195767.
- [6] Zakariadze G. et al. Geochemistry and geochronology of the Neoproterozoic Pan-African Transcaucasian Massif (Republic of Georgia) and implications for island-arc evolution of the late Precambrian Arabian Nubian Shield. // Gondwana Research, 11, 2007, pp. 97-108.



## გეოლოგიური რღვევის გავლენა ფერდობის მდგრადობაზე

**\*, \*\*არაბიძე ვ., \*\*ჩხიკვაძე კ., \*გიგბერია მ., \*ლლონტი ნ.**

*\*ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის  
მიხეილ ნოდუას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი.*

*\*\*საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი.*

**ანოტაცია.** სტატიაში განიხილება კლდოვან ქანებში არსებული ბზარების (ნაპრალების) გავლენა ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტის მნიშვნელობაზე „მტკვარი-ჰესი“-ს ერთერთი სამშენებლო უბნის მაგალითზე. მიღებულია ემპირიული დამოკიდებულება ბზარის სიღრმესა და მდგრადობის კოეფიციენტის ცვლილებას შორის სხვადასხვა ინტენსივობის მინისძვრების შემთხვევაში.

**საკვანძო სიტყვები:** „მტკვარი-ჰესი“, ბზარი, მინისძვრები.

მშენებლობის გაზრდილი მოთხოვნილებების შესაბამისად განაშენიანების ტერიტორიის ათვისება მიმდინარეობს ურთულესი გეოლოგიური გარემოს პირობებში, რასაც შესაძლოა თან ახლდეს საშიში გეოლოგიური პროცესების განვითარება. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია როდესაც სამშენებლო ობიექტი განთავსებულია სეისმურად აქტიურ ახალ, შეუსწავლელ გეოლოგიურ რღვევაზე. კლდოვანი ფერდობის მდგრადობის კოეფიციენტის ცვლილების შესწავლა განხორციელდა „მტკვარი-ჰესი“-ს მშენებლობის ერთერთ უბანზე, კერძოდ, ახალციხის მუნიციპალიტეტის, სოფ. საყუნეთში, მდ. მტკვარზე, სადერივაციო გვირაბის ჰესის შენობასთან შეერთების ადგილას, სადაც გათვალისწინებულია სადანწეო მილსადენების მოწყობა (სურ. 1).



სურ. 1. საკვლევი ობიექტის საერთო ხედი.

საინჟინრო-გეოლოგიური თვალსაზრისით [1], „მტკვარი-ჰესის“ სამშენებლო ტერიტორიის ამგები გრუნტები იყოფა ორ კლასად: ხისტი სტრუქტურული კავშირების მქონე გრუნტების კლასი, ანუ კლდოვანი გრუნტების კლასი და გრუნტების კლასი, რომელთაც არ გააჩნიათ ხისტი სტრუქტურული კავშირები, ანუ არაკლდოვანი გრუნტები. გეოლოგიური აგებულების თანახმად, მათანაბრებელი რეზერვუარის და ჰესის შენობის განლაგების უბანი აგებულია შუა ეოცენის შუა ნყების ( $P_{92}^{2b}$ )

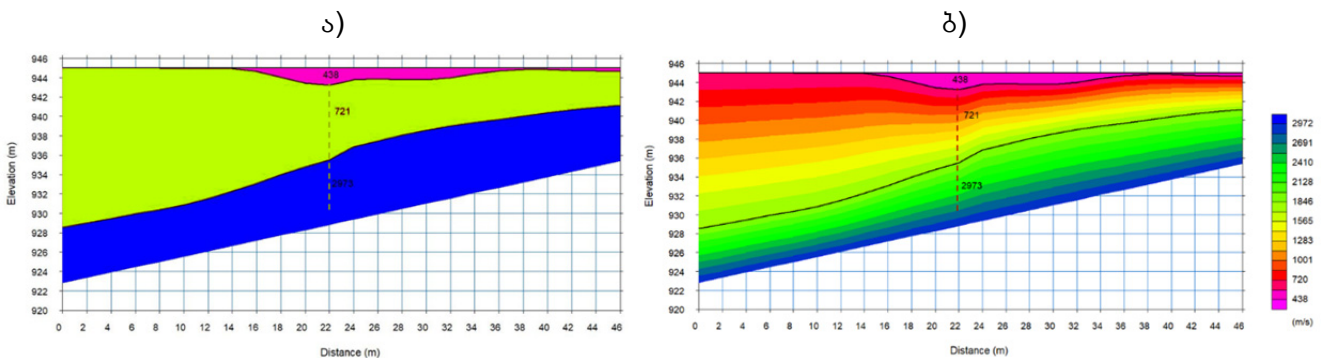


კლდოვანი და ნახევრადკლდოვანი გრუნტებით. აღნიშნული წყების ძირითად მასას წარმოადგენს ტუფები (77%), ქვიშაქვები (10%), არგილიტები (10%) და ანდეზიტები (3%). ტერიტორიის მნიშვნელოვან ნაწილში ძირითადი ქანები გადაფარულია მეოთხეული წარმონაქმნებით – ალუვიური, დელუვიური და პროლუვიური თიხნარ-ქვიშნარებით, ქვიშოვანი და კენჭნარ-ხრეშოვანი გრუნტებით. საფარი გრუნტების სისქე ფერდობზე მერყეობს რამდენიმე სმ-დან 2.5-3.0 მ-მდე, ხოლო ფერდობის ძირში, მდინარის სანაპიროს გასწვრივ, ბურღვის მონაცემებით – 9.0 მ-ს აღწევს. სურ. 2-ზე ნაჩვენებია სადანნეო მილის განთავსების არეში დახრილი ორიენტაციის ბზარი ძირითად ქანებში.



სურ. 2. დახრილი ბზარი ძირითად ქანში სადანნეო მილის განთავსების სიბრტყეში.

არსებული ბზარის გავრცელების სიღრმის შეფასების და გრუნტების დინამიკური მახასიათებლების დადგენის მიზნით ჩატარდა სეისმური პროფილირება ტომოგრაფიის მეთოდით, აიგო შესაბამისი სეისმოგეოლოგიური ჭრილები, განისაზღვრა დრეკადი გრძივი და განივი ტალღების გავრცელების სიჩქარეები. ასევე, შეფასდა შესაბამისი ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები. სეისმოპროფილირება ტომოგრაფიის მეთოდით ჩატარდა 10 ჰერციანი გეოფონებით, რომელთა შორის დაშორებაც 2 მეტრს შეადგენდა. სეისმური ტალღების ინდუცირება ხდებოდა 10 კვიანი უროს პლასტმასის სპეციალურ ფირფიტაზე დარტყმით. გეოფონები და დარტყმები სრულდებოდა Z-Z და Y-Y ორიენტაციებით, გამოიყენებოდა 11 დარტყმის ნერტილიანი სისტემა, რომელიც შეიცავდა 9 დარტყმას გეოფონების განთავსების ფარგლებში და ორ პროფილიდან გატანილ დარტყმას. ტალღის ტიპის მიხედვით იცვლებოდა დარტყმის ორიენტაცია. სეისმური ტალღების რეგისტრაცია ხორციელდებოდა GEOMETRICS ფირმის 24 არხიანი საინჟინრო სეისმური სადგურით, ხოლო მონაცემების დამუშავება და ინტერპრეტაცია განხორციელდა იმავე ფირმის ლიცენზირებული პროგრამის SeisImager გამოყენებით. უკეთესი ვიზუალიზაციისათვის ერთერთ პროფილზე აგებულია ინტეგრალური (სურ. 3 ა) და დიფერენციალური (სურ. 3 ბ) ჭრილები.

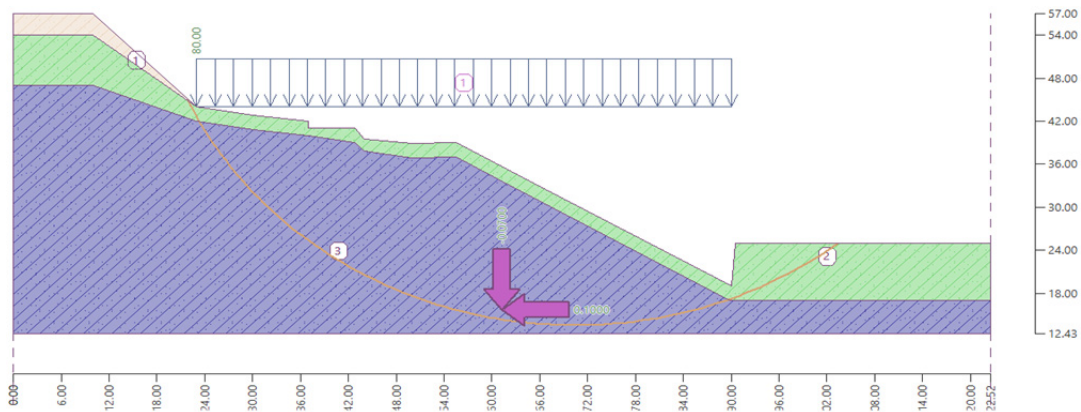


სურ. 3. სეისმოგეოლოგიური ჭრილი. წითელი წყვეტილი ხაზით დატანილია რღვევის სავარაუდო ხაზი: ა) ინტეგრალური და ბ) დიფერენციალური ჭრილები.

აღსანიშნავია, რომ პროფილის დასაწყისიდან დაახლოებით 22 მ-ში გამოიკვეთა რღვევისათვის დამახასიათებელი ფენების კონფიგურაცია, რომლის მიხედვითაც შეიძლება ვიმსჯელოთ მისი გავრცელების ზონაზე. ეს ზონა იწყება ზედაპირიდან 80-100 სმ სიღრმეზე და დაიკვირვება 12 მეტრ სიღრმემდე. ჩვენი აზრით ეს არის ის ზონა, სადაც რღვევა მნიშვნელოვნად გახსნილია და მიუხედავად შემავსებელი გრუნტის არსებობისა გამოკვეთილად აისახება პროფილის ტომოგრაფიულ ჭრილში (სურ. 3). სავარაუდოდ, ბზარის გაუხსნელი ნაწილი ვრცელდება უფრო ღრმად.

ფერდობის მდგრადობის განსაზღვრისათვის გამოიყენება მეთოდები, რომლებიც ცნობილია როგორც ზღვრული წონასწორობის და რომელთა ძირითადი იდეა მდგომარეობს ჩამონგრევის ზედაპირის მოხაზულობის განსაზღვრაში და ამ ზედაპირის გასწვრივ ძაბვების სიდიდეების გამოთვლაში, რაც ნიშნავს დაცურების ზედაპირის შიგნით მოთავსებული გრუნტის მასივისა და გრუნტის თავისუფალი ზედაპირის წონასწორობის მდგომარეობაში ყოფნას. ფერდობის მდგრადობის ხარისხის განმსაზღვრელად მიღებულია მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტი, ანუ უსაფრთხოების ფაქტორი,  $F$ . ფართო გაგებით ეს უკანასკნელი შეიძლება განიმარტოს როგორც სიდიდე პოტენციალური წინაღობის (ფერდის დამჭერი) ძალების ფარდობისა იმ აქტიურ ძალებთან, რომლებსაც შეუძლიათ გამოიწვიონ გრუნტის დაცურება. ფერდობი, რომელიც იმყოფება ზღვრულ წონასწორობაში, ხასიათდება 1-ზე მეტი სიდიდის უსაფრთხოების ფაქტორით. ჩვეულებრივად, საანგარიშო უსაფრთხოების ფაქტორი, მრავალ ქვეყანაში იცვლება  $1 \pm 1.5$  დიაპაზონში (მინიმალური მოთხოვნაა  $F=1.5$ ).

ფერდის მდგრადობის შეფასება განხორციელდა ბიშოპის, ჯანბუს, სპენსერის, ფილენიუს-პეტერსონის და მორგენშტეინ-პრაისის მეთოდებით. ფერდობის მდგრადობის საკითხი შესწავლილ იქნა თანამედროვე გეოტექნიკური პროგრამის GEO-5-ის გამოყენებით. ფერდობის მდგრადობის შესწავლის მიზნით, გამოსაკვლევ ტერიტორიაზე აგებულ იქნა ჭრილი, რომლის გეომეტრიული ზომები აღებულია საინჟინრო-გეოდეზიური და ტომოგრაფიული კვლევების მონაცემების შესაბამისად. ჭრილის ამგები გეოლოგიური ფენების ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები მიღებულ იქნა საინჟინრო-გეოლოგიური და საინჟინრო-სეისმოლოგიური კვლევების შესაბამისად. დეტალური ანალიზისთვის აგებულ იქნა ფერდობის საანგარიშო მოდელები ბზარის გარეშე და ბზარის გავრცელების სხვადასხვა სიღრმეებისთვის (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 მეტრი), ასევე სხვადასხვა ინტენსივობის მიწისძვრებისთვის (EMS-98 [2], MCS [3], MSK-64 [4] ინტენსივობა 7, 8, 9). სურათ 4-ზე წარმოდგენილია ფერდობის საანგარიშო მოდელის ხედი.



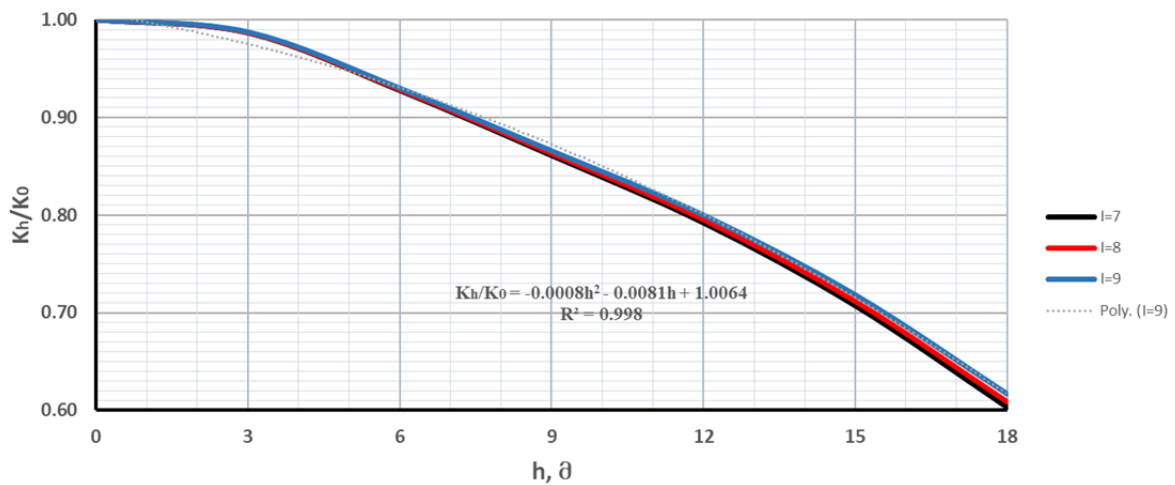
სურ. 4. ფერდობის საანგარიშო მოდელის ხედი.

გაანგარიშების შედეგად მიღებული შედეგები, სხვადასხვა ინტენსივობის მიწისძვრისათვის და ბზარის გახსნილობის სხვადასხვა სიღრმისათვის, მოყვანილია ცხრილ 1-ში, ხოლო სურათ 5-ზე ნაჩვენებია სხვადასხვა ინტენსივობის მიწისძვრისას ფერდის მდგრადობის კოეფიციენტის ცვლილების ბზარის სიღრმეზე დამოკიდებულების მრუდები.

გრაფიკიდან ჩანს, რომ მათი დამოკიდებულება კარგად აღინერება კვადრატული პოლინომით და 18 მეტრ სიღრმემდე ნაკლებადაა დამოკიდებული მიწისძვრის ინტენსივობაზე.

ცხრილი 1. სხვადასხვა ინტენსივობის მიწისძვრისას ფერდის მდგრადობის კოეფიციენტის ბზარის სიღრმეზე დამოკიდებულების ცხრილი.

ბზარის სიღრმე h, მ	ფერდის მდგრადობის კოეფიციენტი		
	I = 7	I = 8	I = 9
0	52.43	48.52	42.23
3	51.73	47.88	41.70
6	48.64	45.05	39.27
9	45.15	41.87	36.56
12	41.54	38.58	33.78
15	37.09	34.52	30.33
18	31.64	29.53	26.05



სურ. 5. სხვადასხვა ინტენსივობის მიწისძვრისას ფერდის მდგრადობის კოეფიციენტის ცვლილების ბზარის სიღრმეზე დამოკიდებულების მრუდი.

## ლიტერატურა

- [1] შ.პ.ს. „გეოინჟინირინგი“-ს მიერ 2009 წელს ჩატარებული საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევები: „მტკვარი-ჰესი მდ. მტკვარზე საქართველოში. // ტექნიკური ანგარიში“ ნაწილი-1, თბილისი 2009.
- [2] European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). // G. Grünthal, R.M.W. Musson, J. Schwarz, M. Stucchi. Luxembourg, 1998.
- [3] Scala macrosismica Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS-1930).
- [4] MSC-64. Medvedev-Sponheuer-Karnik scale 1964.

## EFFECT OF GEOLOGICAL FAULTING ON SLOPE STABILITY

Arabidze V., Chkhikvadze K., Gigiberia M., Ghlonti N.

**Abstract.** The article discusses the effect of cracks in bedrock on the value of the slope stability coefficient. On the example of one of the construction sites of “Mtkvari-Hesi”, an empirical relationship between the crack depth and the change of the stability coefficient during earthquakes of different intensities is obtained.

**Keywords:** “Mtkvari-Hesi”, crack, earthquakes.

## SMALL INTRUSIONS AND DIKES ASSOCIATED WITH ORE FORMATION (ALMALKYK-ANGREN MINING DISTRICT)

**Karimova F.B., Dzhumaniyazov D.I.**

*H.M. Abdullaev Institute of Geology and Geophysics, Tashkent, Uzbekistan*

**Abstract.** *The thesis provides generalized brief materials for the study of small intrusions, about their role in ore formation. Their formations, their independence and others are given. The metallogenic specificity of this area is also given. New factual materials of our research.*

**Keywords:** *independent small intrusions, dike belts, pluto, gabbro-diorite, essexite, syenodiorite (quartz monzonite), granodiorite, dolerite, gabbro, diabase, granite porphyry.*

The category of “independent small intrusions” in the Middle Tien Shan includes intrusions following orogenic plutons. The time of their manifestation in the geotectonic development of the region was highlighted by H.M. Abdullaev [1] as a stage of small porphyry intrusions. The solution of the issues of the relationship of small intrusions, dike belts and metal concentrations with the deep structure of the lithosphere is currently one of the most urgent. Several special works have been devoted to small intrusions and dyke formations of the Chatkalo-Kuramin region (O.P. Gorkova, V.I. Eisenstat, J. Matchanov, E.V. Poyarkova, V.Ya. Klipenstein, G.T. Tajibaev). As a result, general information was obtained on the geology and prevalence, petrographic and partially chemical composition of certain types of rocks of small intrusions of Almalyk, the right bank of the Angren River and dikes of the northern and southern slopes of the Kuramin ridge.

Based on the generalization of literary data, personal research materials and formation analysis, I.H. Khamrabaev and co-authors proposed a number of criteria for the identification of small intrusions. The most important of them are: confined to the late stages of the development of folded zones and activation stages; autonomy from large granitoid intrusions and volcanic manifestations; homodromity, increased alkalinity, mottled but related material composition, fine-grained, often porphyry rock structure, predominant rare metal and copper-polymetallic specialization. The correspondence of small intrusions to two series of formations was determined: early – gabbro-diorite (essexite)-syenodiorite (quartz monzonite)-granodiorite-granite (P<sub>1</sub>-P<sub>2</sub>) and late – dolerite-gabbro-diabase-granite-porphyry (P<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>). They are mainly confined to the regional Kyzylkum-Kuramin and Baisun volcanic belts. Within the Chatkalo-Kuramin region, the small intrusions include the Chorukh-Dayron interformational laccolith with an outlet area of 25 km<sup>2</sup> (305-270 million years), the Babayob lolite – 50 km<sup>2</sup> (273 million years), a number of other small bodies and dike belts. The rocks of the Chorukh-Dayron intrusive are combined into the monzonite-granodiorite-granite formation, and the Babayob formation into the gabbro-monzonite-syenite formation. Previously, these massifs were included in the Permian gabbro-syenite formation of postrogenic independent small intrusions, completing the subsequent magmatism of the Middle Tien Shan. By the beginning of it, that is, Permian volcanites (rhyolites, trachyriolites, granophyres) and comagmatic to them, the so-called interstitial leucogranites, alaskites of the Shaidan and Arashan complexes, were also attributed to the formations preceding small intrusions.

H.M. Abdullaev [1], J. Matchanov [5] and others proposed to call small dike intrusions plutonic dikes. They are characterized by the formation of folded regions in the final stages of development; multiphase and phase affinity; small body sizes or more often their dyke shape; hypabyssal appearance, porphyry structure of rocks, their formation from a multiphase melt (crystal + liquid); predominantly acidic composition of

rocks, i.e. relative saturation with silica and alkalis; frequent association with previous effusions and younger dikes of the main composition; mainly the paragenetic connection of gold and polymetallic mineralization with them.

V.A. Zharikov, V.L. Rusinov [6] small intrusions of granodiorite porphyries of the skarnovo-polymetallic and gold-silver deposits of the Kuramin Mountains were considered a vein series of hidden granitoid plutons. The independence of dikes of diorite porphyrites, granodiorite porphyries and adamellite porphyries and the paragenetic relationship with them of polymetallic deposits of the Almalyk ore region is shown by special studies by J. Matchanova [5]. Simple and complex dikes of Permian age, composed of diabases, dolerites, diorite porphyrites, syenite porphyries, quartz syenite porphyries, rhyolite porphyries, are combined into the Chilten series or a complex of dykes of the "Kyzylnurinsky type" and belong to independent porphyry small intrusions of the gabbro-syenite series. The Chorukh-Dayronsky, Babayobsky, Shavazsky, Kassansky belts (arcs) of the development of these dikes are distinguished. In the southwestern spurs of the Chatkal ridge (right bank of the Angren River) they are developed only in the form of separate dikes of the north-eastern, west-north-western and latitudinal directions. The metallogenic specificity of this area (gold, uranium, copper, lead, zinc, tin, lithium, fluorite) is close to that of the Karamazar and Mogoltau mountains, where petrotypes of ore-bearing small intrusions are located. Therefore, the assumed dyke form of expression of small intrusions does not exclude a possible genetic connection of mineralization with them. Previous studies have made it possible to carry out the first genetic classifications of small intrusions and dikes [1], to suggest their possible connection with large plutons, volcanic eruptions and ore manifestations. This limited our knowledge of small intrusions and dikes. The conditions for the generation of foci of their melts, the mechanism of penetration (penetration) and penetration into the upper layers of the Earth's crust, the place of small intrusions and dikes in the general process of petrogenesis and metallogeny, in the evolution of magmatism and the development of the Earth's crust remain unknown.

The increased copper content in small intrusions of the Almalyk mining district is highlighted as a special feature of their metallogeny. The high ore saturation of this area may be related to its position at the intersection of deep-seated tectonic structures [7].

Studies of the deposits of the Almalyk ore region (Sarychek, Kalmakir, Yeshlik, etc.) have shown the commonality of their geological structure, tectonics, magmatism, material composition and the genesis of industrial mineralization. The ores of the Kalmakyr, Yeshlik, Karabulak deposits, Northwestern interspersed, veined and vein-type Balykles contain Si (0.4%), Mo (0.005%), Au (0.59 g/t), Ag (2.6 g/t), which are concentrated in chalcopyrites, molybdenum, pyrites. Almalyk deposits are supergiant and unique in terms of reserves.

Along with iron, copper, and molybdenum, the Kalmakyr, Sarychek, and Yeshlik deposits contain a valuable complex of elements – gold, silver, rhenium, selenium, tellurium, bismuth, indium, cadmium, cobalt, antimony, palladium, platinum, as well as lead and zinc (Table 1).

**Table 1. The ratio of impurity elements in rocks of copper-porphyry deposits of the Almalyk ore region to clarks in the Earth's crust (Cc)**

№	Element	Sarychek	Kalmakyr	Yeshlik
1	copper	1,9-62,3	15,7-85,1	2,1-8,5
2	molybdenum	1,9-44,9	11,8-79,1	1,9-7,3
3	tungsten	1,6-5,8	2,3-26,9	1,6-4,5
4	tin	до 2,3	1,6-6,8	1,9
5	lead	1,5-9,3	1,6-9,4	1,8-2,3
6	rhenium	14,3	7,1-457,1	14,3-20,0
7	ytterbium	2,3-8,4	1,6-3,9	2,5-10,9
8	gold	11,6	17,2-311,7	2,2-46,2

9	silver	6,0-35,9	8,6-85,7	3,7-91,4
10	arsenic	5,3-57,9	1,8-18,8 до 47,0	2,4-15,9
11	antimony	1,7-6,1	1,8-15,0	2,0-20,0
12	bismuth	20,1-465,6	31,1-211,1	17,3-189
13	selenium	10	38,0-280,0	4,0-56,0
14	tellurium	300	300	300
15	platinum	10	5	10
16	boron	2-3	2-4	1,9-3,9
17	phosphorus	at clark's level	at clark's level	1,3-2,7
18	barium	1,6-6,7	-	-
19	chromium	-	1,5-3,1	-

Note. Compiled according to the results of 65 analyses on the ISP-MS 7500 Series Agilent Technologies mass spectrometer (Japan). According to Sarychek – 25 samples, Kalmakyr – 29 samples, Eshlik (Far) – 11 samples.

Most of these elements, along with copper and molybdenum, are oreogenic and are the main ones in the gold and silver deposits of the Almalyk-Angren metallogenic zone. The formation of Au, Ag, Te, Se, As, and U ores is associated with the most recent lamprophyre dikes [3] widely represented in the Kyzylalma and Kochbulak deposits.

Their formation is associated with small intrusions of diorites and mainly monzodiorites and monzonites. There is a possible connection between the mineralization of gold, silver and platinoids with plutonic dyke formations [3]. These manifestations of multi-temporal and heterogeneous ore-magmatic systems within the Chatkalo-Kuramin hotspot are explained by the authors of the spatial combination of ores of copper, rare, precious metals and the formation of the so-called "Big Almalyk" [4].

## References

- [1] Abdullaev H.M. Dykes and mineralization. // M., Gosgeoltehzdat, 1957, 232 p.
- [2] Golovanov I.M., Nikolaeva E.N., Kazhikhin M.A. Complex predictive search model of the copper porphyry formation. // T., Fan, 1988, 203 p.
- [3] Karimova F.B. Plutonic dikes of gold and silver deposits of Almalyk-Angren district. // Tashkent, Lesson Press, 2020, 113 p.
- [4] Karimova F.B., Jumaniyazov D.I., Usmanova S.V., Tevelev A.V. The Mineralogical and Geochemical Features of the Yoshlik Deposit (Almalyk-Angren Mining Region, Uzbekistan). // Moscow University Geology Bulletin, 77 (6), 2022, pp. 710-713.
- [5] Matchanov J. Plutonic dykes of the lower Permian of the Almalyk ore region (Sredinny Tien Shan). // Abstract of the dissertation ... candidate of Geological Sciences. T., IGiG AN RUz, 1983, 17 p.
- [6] Rusinov V.L. Petrology of the volcanic complex of the Lashkerek caldera (Uzbekistan) and the problem of heterogenization of acid lavas. // Petrology, Volume 9, No 1, 2001, pp. 70-88.
- [7] Turesebekov A.H., Vasilevsky B.B. Geological and genetic model.



## CRUCIAL MOMENT OF TOPOGRAPHIC MAP FOR EFFECTIVE MANAGEMENT OF NATURAL DISASTERS

\*\*\*Gorgijandze S., \*\*\*\*Gorgodze T., \*\*\*\*Jincharadze G., \*Kobakhidze N.,  
\*\*\*Gulashvili Z., \*\*\*\*Silagadze M., \*\*\*Dvalashvili G.

\**Institute of Hydrometeorology at the Georgian Technical University*

\*\**Ministry of Defence of Georgia*

\*\*\**Institute of Geography, Tbilisi State University, Institute of Geography*

\*\*\*\**MA of political science, University of Salamanca, Spain.*

*sophiogorgijanidze@gmail.com*

**Abstract.** Georgia, as a country with many mountainous regions, is characterized by natural disasters. This means that our country always experiences one or another catastrophic processes locally. Against the background of climatic warming, the increase of water level in rivers and the melting of glaciers, accompanied by water falls and mudslides, became more active. These events took place both in the past and now in Georgia. Therefore, we need to know how to manage them, both from state structures, as well as through scientific research and state defense systems. It is important to note the role of topographic maps in managing such natural events. Its example is the Buba glacier and the Devdorak glacier, where a military contingent was involved in the final management and emergency rescue operations were carried out. This is doubly important during the current research in order to timely eliminate the negative consequences of the current disaster.

**Key words:** Landfill floods, breakthrough, glacier, mudflow

### Introduction

Georgia, as a country with many mountainous regions, is characterized by natural disasters. In fact, except for volcanism, all events are recorded by us. This means that our country always experiences one or another catastrophic processes locally. Earthquakes, landslides, glacial actions, avalanches and floods are noteworthy. Against the background of climate warming, melting of glaciers has become more active, accompanied by flood and Mudflow. Also, one of the types of natural events is the catastrophic floods formed during the eruption of the flooded lakes caused by the encroachment of the river valleys. As a result, the entire perimeter of the river valley is flooded with water. During these years, they had many places in Georgia. Casualties and losses caused by them are also frequent. A classic example of this is August 2023, Racha, Shovi resort. When the glacial water mass on the Buba River completely covered its valley. Unfortunately, 33 people lost their lives in this disaster. This information is given in the work of S. Gorgijanidze: „The Geography of Risks of Breakthrough of Glacial Lakes and Valleys“ [1,2]

On the basis of the field studies carried out in the valley, it was established that west of Buba glacier, there was a collapse of the rock mass, which collided with the glacier, caused the collapse of a certain part of it, which may have caused the activation of the water beaten up under the glacier and the water fall. In itself, this was preceded by the melting of the glaciers, which is taking place in all those areas where there is an intensity of global climatic warming. The raging flood covered the territory of the Shovi resort. destroyed the houses and infrastructure there. It became necessary to search and evacuate the tourists and the population living there. The State Rescue Service and the local population were actively involved in the search and rescue service. These works covered several stages. First, the study of the area through topographical maps, on which the search and rescue work was to be carried out. The second phase was the investigation and extent of the natural phenomenon in the Shove resort, and the third phase was the final search with the involvement of several services [3,4,5].

## Results

It should be noted that for the first time the distribution of the area was investigated by means of a topographical map of 1: 50,000 places. The glacier was explored, from which it was found that the glacier has shrunk. Then again, by means of a topographical map, on which all the objects and places are marked in detail, the area of the mudflow spread itself was studied (Fig. 1).



**Fig. 1. River Buba basin, Buba glacier, the research and exploration area is bounded by a red line (map author T. Gorgodze)**

Here it is necessary to mention that the ongoing works were so difficult and large-scale that the State Rescue Service was assisted in the search and rescue process by the military units of the Ministry of Defense. The soldiers, again based on topographical mapping and their modern equipment, continued the initial actions that helped the region to resolve the disaster mitigation measures. Unfortunately, the search for people was going on for almost a month and a half. Finally, the bodies of 33 people were found. On the first day, more than 200 people were evacuated with proper actions and cartographic planning (Fig. 2).



**Fig. 2. Georgia, Racha, Shovi in 2022 and 2023 before and after the disaster (2022 photo G. Jincharadze, 2023 photo National Environment Agency).**

Maps are very important during and after a disaster. This is just one example when soldiers were deployed in strategic areas of the country, mapping the area and eliminating negative consequences. The same thing happened in 2017 during the Devdorak glacier tragedy. After that, the state installed an early warning system in that area, which will prevent the impending disaster.

For this, it is necessary to process various topographical and schematic maps. As well as the processing of aerial photo material, the definition of clear modeling for the mitigation of natural events in their active zones [6].

At the first stage, it is important to study the terrain map of this or that region, then the synoptic map, which should be accompanied by multi-year data according to climatic conditions. A hydrographic and topographic map of population settlement is necessary. Here we should mention the familiarization of various geo-information maps, which give us the answer to which natural event is widespread where [7].

## Conclusions

All this will help us to manage the natural event both before and after it. Therefore, using different maps over the years and refining them is a necessary condition in mitigating any event. As for the involvement of the military units of the Ministry of Defense using their topographic map, it is very important for our country, because they help the population and rescue teams in all places and situations, which makes their defense activities very valuable.

## References

- [1] Gorgijanidze S.M., Jincharadze G.A., Silagadze M.M., Tchintcharauli I.R. The Geography of Risks of Break-through of Glacial Lakes and Valleys. // Journals of Georgian Geophysical Society, 26(2), 2023.  
<https://doi.org/10.60131/ggs.2.2023.7442>
- [2] Glacial flooding threatens millions globally. // Каталог Ледников СССР. т.8., части 10, 11, 12. т.9. вып. 2-7. Гидрометеоиздат. Л, 1975, 86-95 с.
- [3] Цомая В.Ш. Гляциогоморфология, гляциология, метеорология, актинометрия, гидрология. // «Материалы гляциологических исследований»; Казбек, Богосский хребет, Базар-дюзи, 1951-1963 гг, Тбилиси, изд. ЗакаНИГМИ, 1964, 545 с.
- [4] გორგიჯანიძე ს., ცინცაძე ნ. მყინვარების უკან დახევის შედეგად წარმოშობილი დაგუბებული ტბების გეოგრაფია. // ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, ტ. 111, 2003.
- [5] Gordeziani T., Laoshvili Z., Gudzuadzea G., Gorgodze T., Sharashenidze M., Jincharadze G., Gagoshashvili M. Theoretical cartography structure, connections, functions. // Abstracts of the ICA, Olomoutsi, 2023.
- [6] On August 3, 2023, Md. A natural phenomenon developed in Bubisskali valley event evaluation report. // National Environment Agency. Tbilisi, 2024.

## მდ. რიონის აუზში მდებარე მყინვარების მორფოლოგიაზე და ექსპოზიციაზე თანამგზავრული დისტანციური დაკვირვების შედეგები

\* შენგელია ლ., \* კორძახია გ., \*\* თვაური გ.,  
\*\*\* გულიაშვილი გ., \*\*\* ქაძამია მ.

\* საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი  
\*\* თბილისის ივ. ჯავახიშვილის სახ. უნივერსიტეტის ელ. ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინსტიტუტი  
\*\*\* გარემოს ეროვნული სააგენტო

**ანოტაცია.** შესწავლილია მდ. რიონის აუზის მყინვარები და მათი მახასიათებლები კატალოგის და 2010, 2015 და 2020 წლების თანამგზავრული მონაცემების მიხედვით. სტატიაში წარმოდგენილია ამ მყინვარების მორფოლოგიაზე და ექსპოზიციაზე დაკვირვების შედეგები. გამოტანილია შესაბამისი დასკვნები.

**საკვანძო სიტყვები:** თანამგზავრული დისტანციური ზონდირება, კლიმატის ცვლილება, მყინვარები, მორფოლოგია, ექსპოზიცია, მდ. რიონის აუზი.

### შესავალი

ნაშრომში წარმოდგენილია ბოლო ათწლეულში მდ. რიონის აუზის მყინვარების მორფოლოგიაზე და ექსპოზიციაზე თანამგზავრული დისტანციური დაკვირვების შედეგები. ადრეულ კვლევებში, როცა ხდებოდა კატალოგის მონაცემების (თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების (თდზ) მხოლოდ ერთი ვადის (2015 წლის) მონაცემებთან შედარება, ამ საკითხზე არ გამახვილებულა ყურადღება [1]. ამჟამად შესასწავლია საქართველოს მყინვარები და მათ მახასიათებლები 2010, 2015 და 2020 წლების თდზ-ის მიხედვით. როგორც აღმოჩნდა მყინვარებზე დაკვირვება სამივე ვადის მახასიათებლების მიხედვით მნიშვნელოვანია, რადგან კლიმატის მიმდინარე ცვლილება იწვევს მყინვარების დეგრადაციას, მცირე ზომის მყინვარების გამოყოფას და მათი მორფოლოგიის ცვლილებას. აუცილებელია განისაზღვროს შეცვლილი მყინვარების ექსპოზიცია, რაც განაპირობებს მათი დნობის სიჩქარეს.

**მეთოდოლოგია, მონაცემები.** მორფოლოგიური ტიპებისა და ზოგადი ექსპოზიციის განსაზღვრის მეთოდოლოგია წარმოდგენილია [2 , 3].

გამოყენებულია მონაცემები კატალოგიდან, რომელიც გამოიცა 1975 წელს 60-იანი წლების მასალების საფუძველზე [4] და მაღალი გარჩევადობის Landsat-ის თანამგზავრებით მოპოვებული სურათები (გარჩევადობა 15–30 მ) სამი ვადისთვის (2010, 2015 და 2020 წლისათვის). თდზ-ის მონაცემები დამუშავებულია GIS (გეო-საინფორმაციო სისტემები) ტექნოლოგიების გამოყენებით.

**ძირითადი ნაწილი.** მთის მყინვარების მორფოლოგიური ტიპებია [5]: კარული, კარული-ხეობის, ხეობის და დაკიდული მყინვარები.

**კარული** მყინვარი შედარებით მცირე ზომის მყინვარია, რომელიც მდებარეობს მთის ფერდობზე თოვლის და ყინულის მოქმედებით წარმოქმნილ თასისმაგვარ ფორმაში – კარში. მყინვარს შეიძლება ეკავოს მთელი კარი, ან მისი გარკვეული ნაწილი და როგორც წესი, პატარა ენით მთავრდებოდა. კარის გამოსასვლელში იგი შემოფარგლულია ბოლო მორენული სერიით. იმ შემთხვევაში, თუ კარული მყინვარი მის ქვემოთ მდებარე ხეობაში ჩადის და მყინვარის ენა საერთო სიგრძის ერთ ან ორ მესამედზე მეტი არ არის ასეთ მყინვარს **კარული-ხეობის** ეწოდება. კარული მყინვარის კვებაში დიდ

როლს გადაქარული თოვლი და თოვლის ზვავები ასრულებს. ამ დროს ხდება თოვლის კონცენტრაცია მყინვარზე. ამის გამოა, რომ ხშირად კარული მყინვარები თოვლის ხაზის ქვემოთ მდებარეობს.

**ხეობის მყინვარები** ხეობის სათავესა და ხეობის შუა მონაკვეთში მდებარეობს. ხეობის მყინვარი მთის მყინვარია, რომლის ენა ხეობაშია, ხოლო ფირნის აუზი – ხეობის სათავეში თასის მაგვარ ფორმაშია მოთავსებული.

**დაკიდული მყინვარი** – მცირე ზომისაა, მთის ციცაბო ფერდობზე სუსტად გამოხატულ ჩალრმავეებაში მდებარეობს და მალა, ძირითადი ხეობის ფერდობზე მთავრდება. მისი მაღალი მდებარეობის გამო ყინულის დნობა მცირეა. უფრო ხშირად დაკიდული მყინვარის შემცირება მისი ენის ჩამონგრევით ხდება. ინტენსიური ნგრევის დროს ყინული ფერდობის ძირში გროვდება და განახლებული (ალორძინებული) მყინვარი წარმოიქმნება. დაკიდულ მყინვარებს შეიძლება მივაკუთვნოთ თხემის ახლოს კულუარებში განლაგებული მყინვარებიც.

რაც შეეხება მყინვარების ექსპოზიციას, კატალოგის მსგავსად გვაქვს შემდეგი აღნიშვნები: დასავლეთი – დ, აღმოსავლეთი – ა, სამხრეთი – ს; სამხრეთ-დასავლეთი – სდ; სამხრეთ-აღმოსავლეთი – სა, ჩრდილოეთი – ჩ; ჩრდილო-დასავლეთი – ჩდ; ჩრდილო-აღმოსავლეთი – ჩა.

მდ. რიონის აუზის მყინვარების განაწილება მორფოლოგიური ტიპების ოთხი ვადისათვის რაოდენობისა და ფართობის მიხედვით წარმოდგენილია 1-ლ ცხრილში.

**ცხრილი 1. მდ. რიონის აუზის მყინვარების განაწილება მორფოლოგიური ტიპების მიხედვით კატალოგის თღ 1-ის (2010 წ.), თღ 2 (2015 წ.), თღ 3 (2020 წ.) მონაცემებით.**

მონაცემები	მორფოლოგიური ტიპები							
	კარული		კარული-ხეობის		ხეობის		დაკიდული	
	რაოდ.	ფართ.	რაოდ.	ფართ.	რაოდ.	ფართ.	რაოდ.	ფართ.
კატალოგით	15	5,1	3	2,8	49	60,8	8	2,0
თღ 1	18	3,3	4	0,9	39	47,9	29	5,0
თღ 2	10	1,9	3	0,8	40	38,9	25	4,2
თღ 3	9	1,0	2	0,7	40	36,7	22	2,8

როგორც ცხრილიდან ჩანს მდ. რიონის აუზის მყინვარებს აქვთ კარული, კარული-ხეობის, ხეობის და დაკიდული ტიპების მორფოლოგია. ყველაზე დიდი რაოდენობით კატალოგის მიხედვით არის ხეობის ტიპის მყინვარები, სულ 49. ხეობის ტიპის მყინვარი ძირითადად ინარჩუნებს თავის მორფოლოგიას, თუმცა შეიძლება დანაწევრდეს ხეობის, კარულ და დაკიდულ მყინვარად, აგრეთვე, ერთ ან რამდენიმე თოვლნარად.

თღ-ის 2010, 2015 და 2020 წლების მონაცემებით კარული ტიპის მყინვარები დეგრადირდება, ხდება მათი დანაწევრება, მცირე მყინვარების და თოვლნარების გამოყოფა.

კარული-ხეობის ტიპის მყინვარები ინარჩუნებს თავის მორფოლოგიას, თუმცა წლების მიხედვით თანმიმდევრულად იკლებს დაკავებული ფართობი და რამდენიმე შემთხვევაში გადადის თოვლნარში.

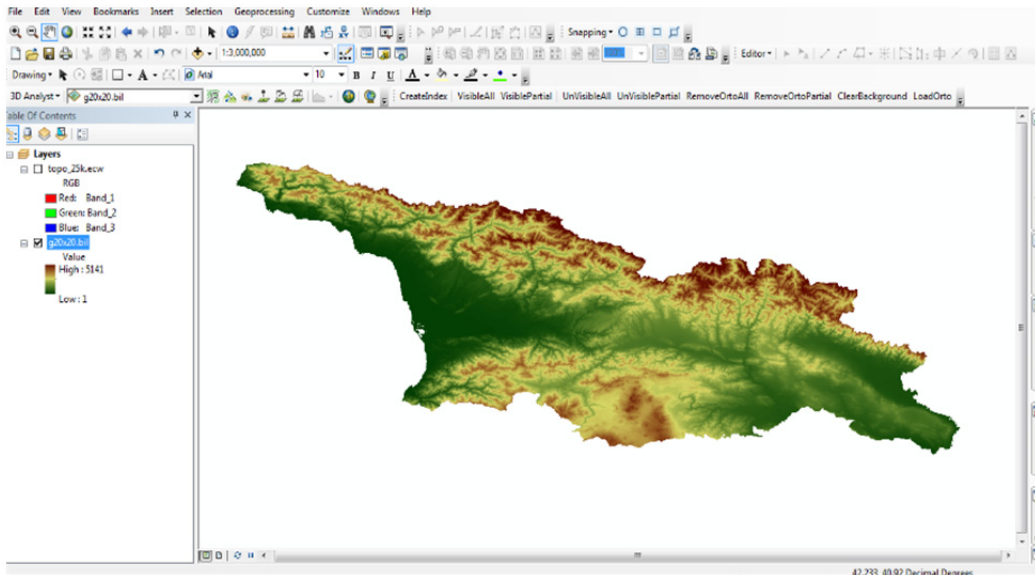
ასევე ინარჩუნებს თავის მორფოლოგიას დაკიდული მყინვარიც, თუმცა დროთა განმავლობაში იკლებს მისი ფართობი, ზოგჯერ გადადის თოვლნარში ან ქრება.

ყველა მორფოლოგიური ტიპის მყინვარის რაოდენობა 2010 წლისათვის მატულობს, მყინვარების დეგრადაციის გამო, გარდა ხეობის ტიპის მყინვარებისა, რაც მათი მორფოლოგიითაა განპირობებული.

მდ. რიონის აუზის მყინვარების ზოგადი ექსპოზიციის საწყისი მონაცემები აღებულია კატალოგიდან, ხოლო 2010, 2015 და 2020 წლის მყინვარების ზოგადი ექსპოზიცია დადგინდა პროგრამა Google Earth-ის გამოყენებით, სადაც ნათლად ჩანს ფერდობების ხეობების მიმართულება და ექსპოზიცია. პროგრამაში შემოტანილ იქნა აღნიშნული წლების მყინვარების კონტურები, და მათი საშუა-

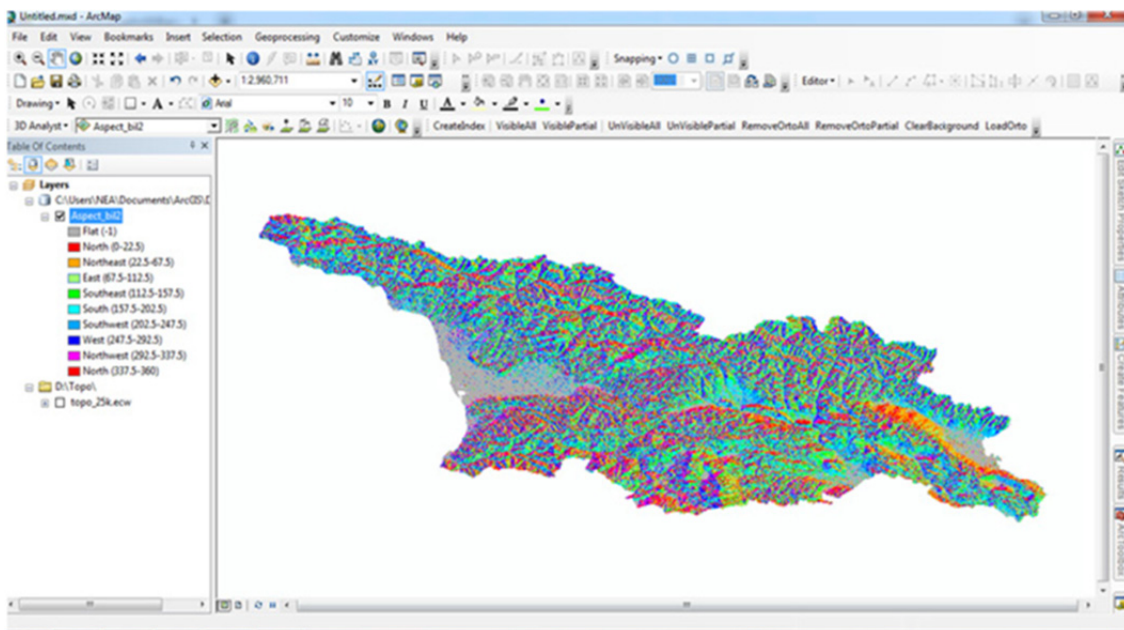


ლებით შესაძლებელი გახდა ფერდობების ექსპოზიციის დადგენა. აღნიშნული მონაცემები გადამონმდა Arc Map-ში (Arc Gis) სპეციალურად შექმნილი Arc Toolbox ინსტრუმენტების გამოყენებით. მეთოდი ითვალისწინებს საქართველოს რელიეფის ციფრული სასიმალო მოდელით (Digital Elevation Model) ე.წ. DEM-ით იმგვარად დამუშავებას, რომ მიგველო საქართველოს ფერდობების ექსპოზიციის რუკა. დამუშავების დროს გამოყენებულ იქნა საქართველოს რელიეფის ციფრული სასიმალო მოდელი 20x20 რეზოლუციით (ნახ. 1).



ნახ. 1. საქართველოს რელიეფის ციფრული სასიმალო მოდელი 20x20 გარჩევადობით.

მე-2 ნახ.-ზე მოცემულია საქართველოს ფერდობების ექსპოზიციის რუკა. ფერდობების ექსპოზიციის გამოსახულებას აქვს ლეგენდა, სადაც ფერების მიხედვით დეტალურადაა გამოყოფილი ფერდობების ექსპოზიცია: ჩრდილოეთი – წითლით, ჩრდილო-აღმოსავლეთი – ნარინჯისფრით, აღმოსავლეთი – ღია მწვანით, სამხრეთ-აღმოსავლეთი – მწვანით, სამხრეთი – ცისფრით, სამხრეთ დასავლეთი – ღია ლურჯით, დასავლეთი – ლურჯით, ჩრდილო-დასავლეთი – იისფრით. გამოსახულებაში შეტანილია საკვლევი მყინვარების კონტური (წლების მიხედვით) და დადგენილია მათი ექსპოზიცია.



ნახ. 2. საქართველოს ფერდობების ექსპოზიციის რუკა.



მყინვარების ექსპოზიციის შესწავლას დიდი მნიშვნელობა აქვს მყინვარების დნობის საკითხთან მიმართებაში. კვლევისათვის მდ. რიონის აუზის მიხედვით, მყინვარების ოთხი ვადისათვის შედგენილ იქნა მყინვარების ზოგადი ექსპოზიციის განაწილების ცხრილი (ცხრ.2).

**ცხრილი 2. მდ. რიონის აუზის მყინვარების განაწილება ზოგადი ექსპოზიციის მიხედვით კატალოგის თღზ 1-ის (2010 წ.) თღზ 2 (2015 წ.), თღზ 3 (2020 წ.) მონაცემებით**

მონაცემები	ზოგადი ექსპოზიცია															
	კატალოგის მიხედვით															
	ჩ		ს		დ		ა		ჩდ		ჩა		სდ		სა	
	რაოდენ.	ფართობი	რაოდენ.	ფართობი	რაოდენ.	ფართობი	რაოდენ.	ფართობი	რაოდენ.	ფართობი	რაოდენ.	ფართობი	რაოდენ.	ფართობი	რაოდენ.	ფართობი
კატალოგით	5	0,7	23	17,5	7	7,8	10	6,1	3	1,8	7	3,3	14	39	6	4,5
თღზ 1	1	0,1	21	11,9	5	5,4	9	3,9	6	1,4	8	2,3	26	23,4	12	4,8
თღზ 2	0	0	18	10,4	5	4,9	7	4,1	5	1,1	9	1,8	25	20,0	9	3,5
თღზ 3	0	0	18	8,7	4	4,6	7	3,2	4	0,8	8	1,4	23	18,3	7	2,9

ამ ცხრილიდან ჩანს, რომ მდ. რიონის აუზის მყინვარების ზოგადი ექსპოზიციის უპირატესი მიმართულება კატალოგით არის სამხრეთი, ხოლო თღზ-ს მიხედვით სამივე ვადისათვის სამხრეთ-დასავლეთი. მათ მიერ დაკავებული ტერიტორიებიც უფრო მეტია.

**დასკვნა.** შეიძლება გამოვიტანოთ დასკვნა, რომ მდ. რიონის აუზის მყინვარებზე კლიმატის მიმდინარე ცვლილების შედეგია, რომ მყინვარების ფართობები ყველა ექსპოზიციის მყინვარისათვის კატალოგის მონაცემებთან შედარებით 2010 წლიდან მოყოლებული თანმიმდევრულად იკლებს. მდ. რიონის აუზის მყინვარების ზოგადი ექსპოზიციის უპირატესი მიმართულება კატალოგით არის სამხრეთი, ხოლო თღზ-ს მიხედვით სამივე ვადისათვის სამხრეთ-დასავლეთი. ბუნებრივია, რომ ეს მიმართულებები ემთხვევა მდ. რიონის მყინვარულ აუზში ჰაერის მასების შემოჭრას, რაც განაპირობებს ამ მთიან რეგიონებში სინოპტიკური პროცესების განვითარებას, რომლებიც დაკავშირებულია უხვი ნალექების მოსვლასთან.

**შეტყობინება.** კვლევა შესრულებულია შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერილი პროექტის FR-21-1996 ფარგლებში.

## ლიტერატურა

- [1] Kordzakhia G. I., Shengelia L. D., Tvauri G. A., Dzadzamia M. Sh. The climate change impact on the glaciers of Georgia. // Int. Journal-World Science, 1, 4(44), Warsaw, Poland, 2019, pp. 29-34.
- [2] შენგელია ლ., კორძახია გ., თვაური გ., გულიაშვილი გ., ბერიძე ს. ბოლო ათწლეულში აფხაზეთის ავტონომიურ რესპუბლიკაში მდებარე მყინვარების მორფოლოგიასა და ექსპოზიციაზე თანამგზავრული დისტანციური დაკვირვების შედეგები. // სამეცნიერო რეფერირებადი ჟურნალი „მეცნიერება და ტექნოლოგიები“, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, №3 (740), 2022, გვ. 28–38.
- [3] Kordzakhia G., Shengelia L., Tvauri G., Dumbadze G. Morphology and Exposure Studies in the Autonomous Republic of Abkhazia (West Georgia) on the Background of Modern Climate Change. // 3<sup>RD</sup> INTERNATIONAL CONGRESS ON ENGINEERING AND LIFE SCIENCE (ICELIS), Proceedings book, 20-22 September 2023, Trabzon/TÜRKİYE. Republic of Türkiye Karadeniz Technical University – 2023, pp. 51–58.
- [4] Маруашвили Л. И., Курдгелаидзе Г. М., Лашхи Т. А., Инашвили Ш. В. Каталог Ледников СССР. Т. 9, вып. 1, ч. 2-6, Закавказье и Дагестан. // Л: Гидрометеиздат, 1975, 86 с.
- [5] გობეჯიშვილი რ., კოტლიაკოვი ვ. გლაციოლოგია. // თბ.: უნივერსალი, 2006, გვ. 291.

## **RESULTS OF THE STUDY OF THE MORPHOLOGY AND EXPOSURE OF GLACIERS IN THE R. RIONI BASIN ON SATELLITE REMOTE SENSING**

**Shengelia L., Kordzakhia G., Tvauri G., Guliashvili G., Dzadzamia M.**

***Abstract.** The article presents the study results of the modern morphology conditions and exposure of the glaciers from the r. Rioni basin (Georgia). These characteristics are researched according to the high-resolution satellite data of 2010, 2015, and 2020. The modern method for determining glacier exposure is described. These data are compared with the data of the former Soviet Union catalogue. Relevant conclusions are presented.*

***Keywords:** climate change, glaciers, morphology, exposure, Rioni basin, satellite remote sensing.*

## ლისის ტბის მიმდებარე ტერიტორიაზე ჩატარებული გეოფიზიკური კვლევის შედეგები

გიგებერია მ., ქირია ჯ.

ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის  
მ. ნოდუას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი

**ანოტაცია:** კვლევის ამოცანას წარმოადგენდა ლისის ტბის მიმდებარე ტერიტორიაზე გეოფიზიკური სამუშაოების ჩატარება ძირითადი ქანების შედარებით შენახული ზონის მდებარეობის განსაზღვრის მიზნით. ამისათვის, დამკვეთთან შეთანხმების საფუძველზე ჩატარდა სეისმური პროფილირება გარდატეხილი ტალღების მეთოდით, აიგო შესაბამისი სეისმოგეოლოგიური ჭრილები, განისაზღვრა დრეკადი გრძივი ტალღების გავრცელების სიჩქარეები.

**საკვანძო სიტყვები:** სეისმური პროფილირება, დრეკადი ტალღების, გეოფონი.

### შესავალი

წარმოადგენდა 115 მ სიგრძის 2 სეისმური პროფილის ჭრილი, საერთო სიგრძით 230 მ (ნახ.1). ორივე პროფილი განლაგებულია ერთ ხაზზე და ერთმანეთს ებმინან ისე, რომ პირველი პროფილის დაბოლოება შეესაბამება მეორე პროფილის დასაწყისს.



ნახ. 1. საკვლევი უბანი და სეისმური პროფილების განლაგების სქემა. №1 მიუთითებს პირველ გეოფონს ანუ პროფილის დასაწყისს, ხოლო №24 – 24-ე გეოფონს ანუ პროფილის ბოლოს.

## გეოფიზიკური კვლევები, სეისმური პროფილირება

საკვლევ ტერიტორიაზე სეისმური პროფილირება ჩატარდა გარდატეხილი ტალღების მეთოდით, რომლის საფუძველზეც დადგინდა დრეკადი გრძივი ტალღების გავრცელების სიჩქარეების მნიშვნელობები და აიგო შესაბამისი ჭრილები.

გარდატეხილი ტალღების მეთოდი იძლევა საშუალებას განისაზღვროს ზედაპირული და უფრო ღრმა ფენების სიმძლავრეები და მათში დრეკადი ტალღების გავრცელების სიჩქარეები. მეთოდი ემყარება დრეკადი ტალღების წყაროდან ერთ ხაზზე განლაგებულ გეოფონებში გრძივი ტალღების ფრონტის შემოსვლების დროების განსაზღვრას.

**სეისმოპროფილირება** ჩატარდა 10 ჰერციანი გეოფონებით, რომელთა შორის დაშორებაც (ბიჯი) 5 მეტრს შეადგენდა. სეისმური ტალღების გენერირება ხდებოდა 10 კგ-იანი უროს პლასტმასის სპეციალურ ფირფიტაზე დარტყმით. გეოფონების დამაგრება და დარტყმები სრულდებოდა Z-Z ორიენტირებით, გამოიყენებოდა 5 ნერტილიანი დარტყმების სისტემა (თავში, შუაში, ბოლოში და ორი გატანილი დარტყმა).

ტალღების რეგისტრაცია ხორციელდებოდა **GEOMETRICS** ფირმის 24 არხიანი საინჟინრო სეისმური სადგურით.

მონაცემების დამუშავება და ინტერპრეტაცია განხორციელდა **GEOMETRICS** ფირმის პროგრამის **SeisImager** გამოყენებით.

გაკეთდა მიღებული მონაცემების ანალიზი და აიგო შესაბამისი ჭრილები (ნახ.2-3).

## კვლევის შედეგები

საკვლევ უბანზე ჩატარდა სეისმური პროფილირება გარდატეხილი ტალღების მეთოდით, აიგო შესაბამისი სეისმოგეოლოგიური ჭრილები, განისაზღვრა დრეკადი გრძივი ტალღების გავრცელების სიჩქარეები. ნაშრომში წარმოდგენილია 115 მ სიგრძის 2 სეისმური პროფილის ჭრილი, საერთო სიგრძით 230მ (ნახ.1). ასევე. გარდა სიჩქარეებისა, სეისმურ პროფილებზე თითოეული ფენისათვის განსაზღვრული იქნა სიმკვრივეები. მიღებული სეისმური ჭრილები ასახულია ნახ. 2-3-ზე.

იდენტიფიკაცია განხორციელდა არსებული გეოლოგიური და ჩვენს მიერ მოპოვებული გეოფიზიკური მონაცემების საფუძველზე. გეოფიზიკური მონაცემების მიხედვით ორივე პროფილზე გამოვლინდა ფიზიკური თვისებებით ერთმანეთისგან გასხვავებული სამი ძირითადი ფენი:

**ფენი1** – განყლოვანებული თიხნარი და ნიადაგის ფენი;

**ფენი2** – წყალგაჯერებული თიხა და თიხნარი ღორღის ჩანართებით;

**ფენი3** – არგილითებისა და ქვიშაქვების მორიგეობა.

სეისმურ ჭრილებზე გარდა გრძივი ტალღების სიჩქარეებისა, ასევე განისაზღვრა შესაბამისი სიმკვრივის მნიშვნელობები, რომლებიც განისაზღვრა გარდნერის ცნობილი ფორმულით:

$$\rho = 0.322 V_p^{0.25} \text{ (გრ/სმ}^3\text{)} \quad (1)$$

სეისმური ჭრილები წარმოდგენილია გასაშუალოებული ჭრილის სახით. ასეთ ჭრილზე ეფექტურად შეიძლება ზემოთ აღწერილი ფენების გამყოფი საზღვრების გამოვლენა.

ასევე თითოეულ გასაშუალოებულ პროფილს თან ერთვის შესაბამისი სიმკვრივეების ცხრილი სიჩქარეებთან ერთად.

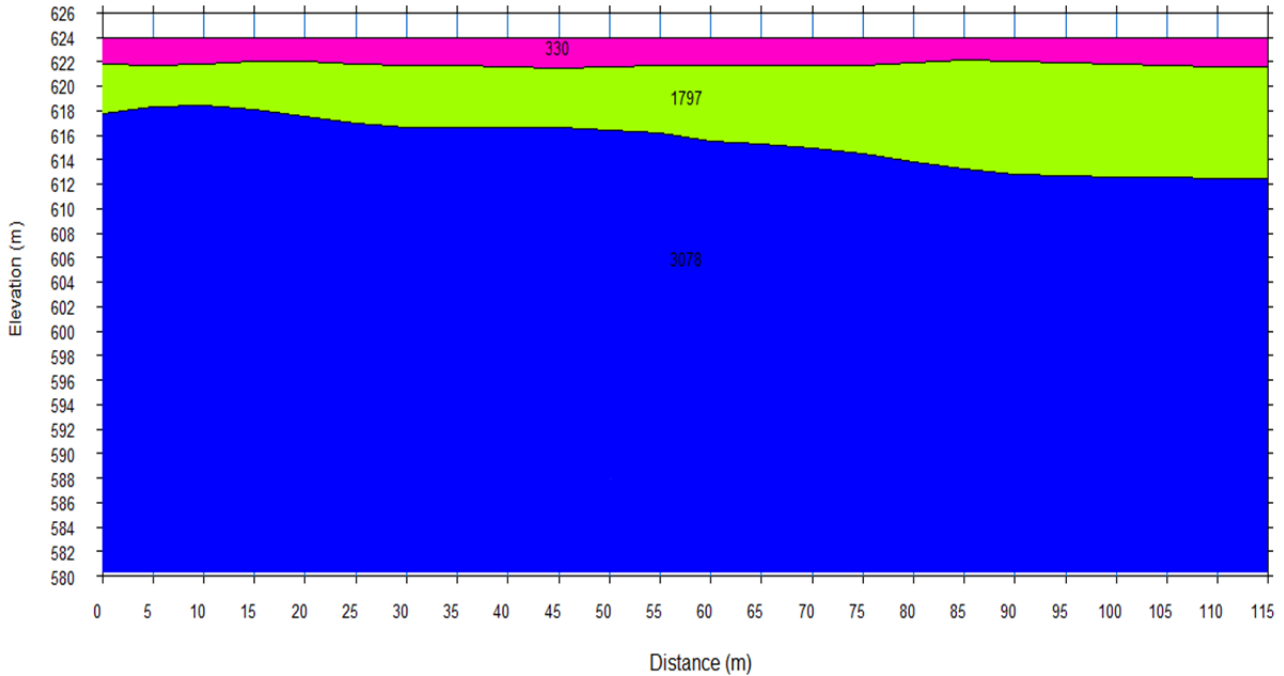
## პროფილი №1

ქანებისა და შესაბამისი საშუალო სიჩქარეების გავრცელება გეოფიზიკური მონაცემების მიხედვით შემდეგია:

პირველი ზედაპირული **ფენი1** ვრცელდება ზედაპირიდან 1-1.5 მ სიღრმემდე დრეკადი გრძივი ტალღების სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობით  $V_p = 330$  მ/წმ, . სიმკვრივის საშუალო მნიშვნელობით  $\rho = 137$  გრ/სმ<sup>3</sup>.

მას მოსდევს **ფენი2**, რომლის სიმძლავრეა 4-9მ, დრეკადი გრძივი ტალღების სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობით  $V_p = 1797$  მ/წმ, სიმკვრივის საშუალო მნიშვნელობით  $\rho = 2.1$  გრ/სმ<sup>3</sup>.

შემდეგ ვრცელდება **ფენი3** – ძირითადი ქანი, რომელიც ჩვენს მიერ დაიკვირვება 44 მ სიღრმემდე, დრეკადი გრძივი ტალღების სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობით  $V_p = 3078$  მ/წმ, სიმკვრივის საშუალო მნიშვნელობით  $\rho = 2.4$  გრ/სმ<sup>3</sup>.



ნახ.2. სეისმური ჭრილი №1.

ცხრილი1. დრეკადი ტალღების სიჩქარეებისა და სიმკვრივების ცხრილი #1-სათვის.

ფენის №	V მ/წმ	$\rho$ გრ/სმ <sup>3</sup>
1	330	1.37
2	1797	2.10
3	3078	2.40

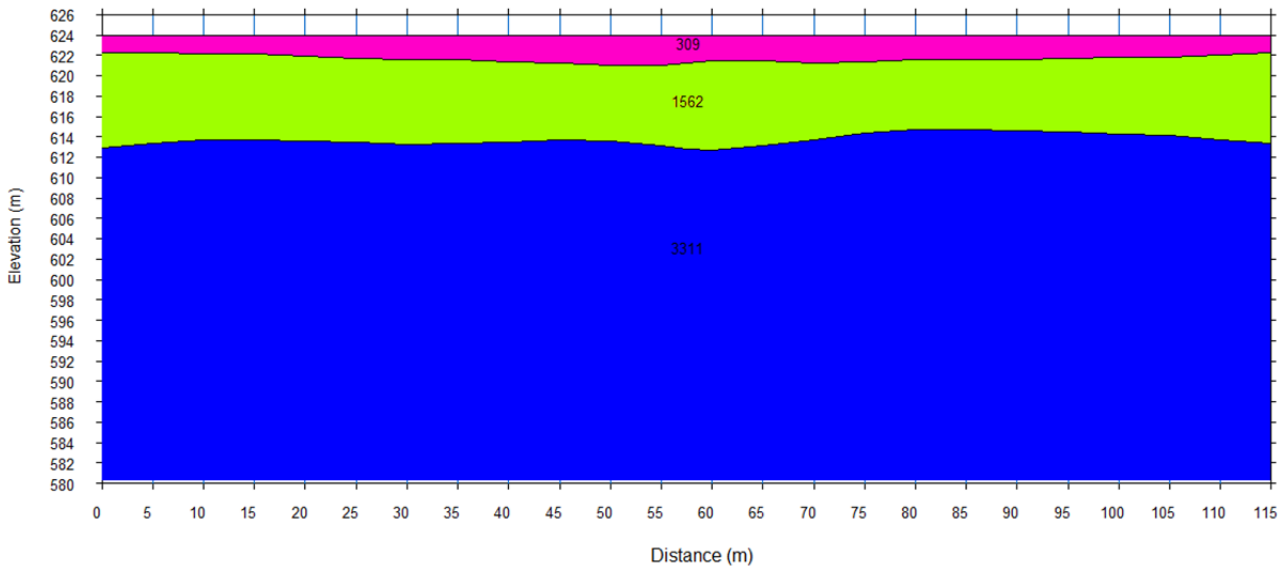
## პროფილი №2

ქანებისა და შესაბამისი საშუალო სიჩქარეების გავრცელება გეოფიზიკური მონაცემების მიხედვით შემდეგია:

პირველი ზედაპირული **ფენი 1** ვრცელდება ზედაპირიდან 2-3მ სიღრმემდე დრეკადი გრძივი ტალღების სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობით  $V_p = 309$  მ/წმ, სიმკვრივის საშუალო მნიშვნელობით  $\rho = 1.35$  გრ/სმ<sup>3</sup>.

მას მოსდევს **ფენი 2**, რომლის სიმძლავრეა 7-9მ, დრეკადი გრძივი ტალღების სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობით  $V_p = 1562$  მ/წმ, სიმკვრივის საშუალო მნიშვნელობით  $\rho = 2.02$  გრ/სმ<sup>3</sup>.

შემდეგ ვრცელდება **ფენი 3** – ძირითადი ქანი, რომელიც ჩვენს მიერ დაიკვირვება 44მ სიღრმემდე, დრეკადი გრძივი ტალღების სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობით  $V_p = 3311$  მ/წმ, სიმკვრივის საშუალო მნიშვნელობით  $\rho = 2.44$  გრ/სმ<sup>3</sup>.



ნახ. 3. სეისმური ჭრილი 2.

ცხრილი 2. დრეკადი ტალღების სიჩქარეებისა და სიმკვრივების ცხრილი #2-სათვის.

ფენის №	V მ/წმ	$\rho$ გრ/სმ <sup>3</sup>
1	309	1.35
2	1562	2.02
3	3311	2.44

## ლიტერატურა

- [1] Savich A.I., Kuyndjich B.D. Complex-engineering research in building hydraulic facilities, 1990.
- [2] Sheriff R., Geldart L. Exploration Seismology. // Mir, Moscow, v.1 and 2, 1987, 900 p.
- [3] Earthquake motion and ground conditions. // The Architectural Institute of Japan (AIJ), 1993, 595 p.
- [4] International Building code, International code council, INC, USA, 2006, 680 p.
- [5] Mohamed, A. M. E., Abu El-Ata, A. S. A., Abdel Azim, F., Taha, M. A. Site-specific shear wave velocity investigation for geotechnical engineering applications using seismic refraction and 2D Multi-channel Analysis of Surface Waves. // NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics, 2, 2013, pp. 88-101.
- [6] Gercek H. Poisson's ratio values for rocks. // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 44(1), January 2007, pp. 1–13.
- [7] Gorodtsov V.A., Lisovenko D.S. Extreme values of Young's modulus and Poisson's ratio of hexagonal crystals. // Mechanics of Materials, 134, 2019, pp.1–8.

## RESULTS OF THE GEOPHYSICAL SURVEY CONDUCTED IN THE VICINITY OF LISI LAKE

**Gigiberia M., Kiria J.**

**Abstract.** The paper presents the conducted geophysical works in order to determine the location of the relatively preserved zone of the main rocks. To do this, seismic profiling was carried out using the method of refracted waves, appropriate seismological sections were taken, and propagation velocities of longitudinal longitudinal waves were determined.

**Key words:** seismic profiling, elastic waves, geophone.



## რიკოთის ხიდის რკინაბეტონის მალის შესწავლა ულტრაბგერითი მეთოდით

ვარამაშვილი ნ., გიგიბერია მ.

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის  
მიხეილ ნოდუას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

**ანოტაცია.** ჩვენი კვლევის საგანი იყო ავტობანის რიკოთის მონაკვეთის ერთ-ერთი საავტომობილო ხიდის რკინაბეტონის მალის ფუძის ნაწილის ხარისხის შესწავლა არადაზიანებელი მეთოდით. ჩვენს მიერ გამოყენებული იქნა ულტრაბგერითი მეთოდი. მოხდა ულტრაბგერითი (54 კჰც) ტალღის სიჩქარის განსაზღვრა ხარისხიან (ეტალონურ), შესასწავლის იდენტურ, კონსტრუქციაში. შემდეგ, შესასწავლ კონსტრუქციაში, 15 წერტილში, მოხდა ულტრაბგერითი ტალღის სიჩქარის განსაზღვრა. ეტალონურ და შესასწავლ კონსტრუქციებში სიჩქარეების შედარების შედეგად მოხდა სტანდარტული სიდიდიდან სიჩქარეების გადახრის შეფასება. ამ გადახრის საფუძველზე შესაძლებელია კონსტრუქციის ხარისხის შეფასება. წარმოდგენილ სამუშაოებში გამოყენებული იქნა შვეიცარული კომპანიის PROCEQ-ის მიერ წარმოებული ულტრაბგერითი აპარატურა – Pundit PL-200. მიღებული მასალის დამუშავება შესრულდა Pundit – 200 და Pundit – 20PE-ს სამუშაო პროგრამის “PL-Link” საშუალებით.

**საკვანძო სიტყვები:** ულტრაბგერა, რკინაბეტონის კოჭი, ულტრაბგერის სიჩქარე, ეტალონური კონსტრუქცია

### შესავალი

ულტრაბგერითი ტალღების მეთოდის საშუალებით შესაძლებელია მასალების გარკვეული მასისათებლების შესწავლა არადესტრუქციული მეთოდების გამოყენებით [1, 2].

ულტრაბგერითი ტალღების მეთოდი ფართოდ გამოიყენება სამეცნიერო, გეომექანიკური, საინჟინრო და სხვა ამოცანების გადასაწყვეტად [3, 4, 5].

ჩვენი ნაშრომის კვლევის ამოცანას წარმოადგენს E-60 ავტომარშალის ზემო ოსიაური-ჩუმათელეთის მონაკვეთის (ლოტი 2 კმ 7+700 -კმ 14+060) უბანზე დამონტაჟებული, ხიდის 1 რკინაბეტონის კოჭის (სიგრძე 40.52 მ) ფუძის (80 სმ სიგანის) შემოწმება ულტრაბგერითი მეთოდით.

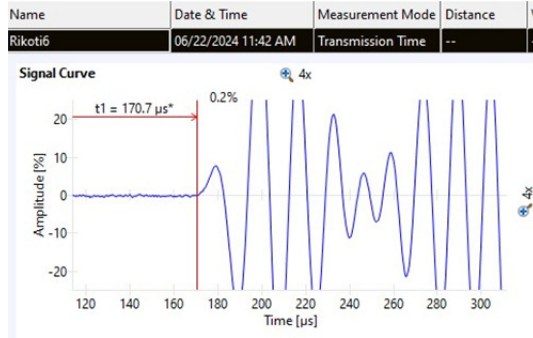
შესამოწმებელ კონსტრუქციაში ულტრაბგერითი მეთოდით ტალღის სიჩქარის გაზომვის პროცესი წარმოდგენილია ნახ.1-ზე.



ნახ. 1. სიჩქარის გაზომვის პროცესი რკინაბეტონის კონსტრუქციაში

**კვლევის შედეგები**  
**ეტალონური გაზომვები**

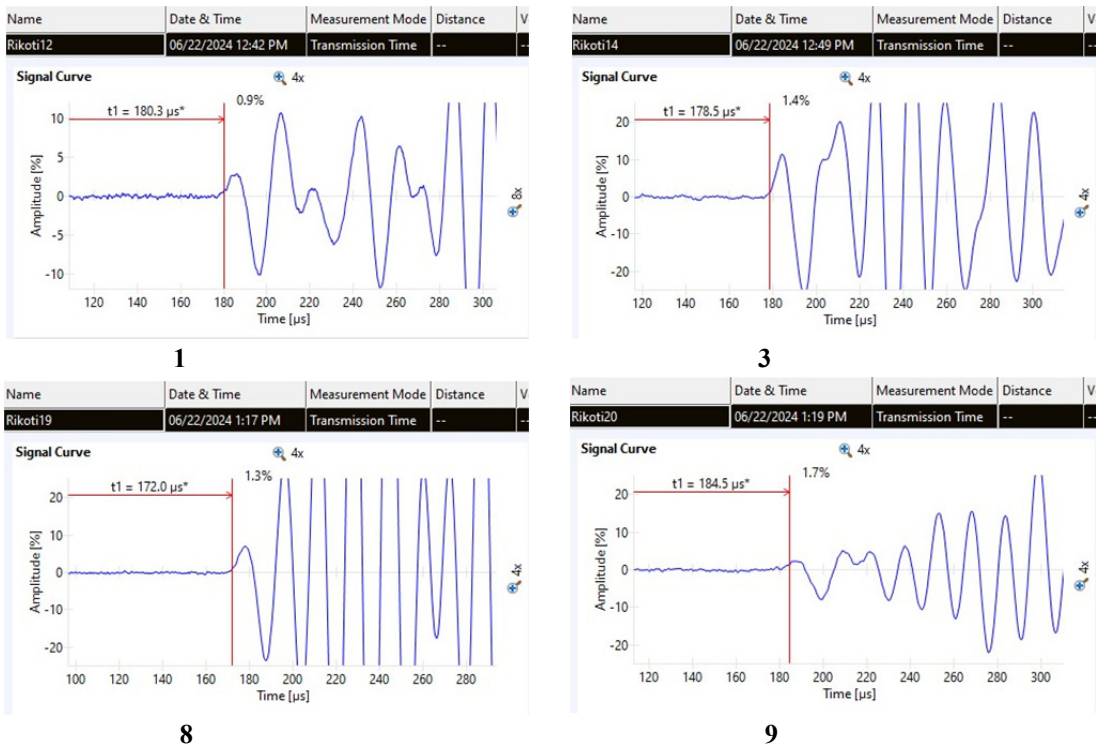
დასმული ამოცანის შესასრულებლად „შემკვეთის“ მიერ მითითებული ხარისხიანი (ეტალონური) რკინაბეტონის კოჭის ფუძის ნაწილში, 6 წერტილში, გაიზომა ულტრაბგერითი ტალღის სიჩქარე. ამისათვის იზომება, ულტრაბგერითი ტალღის გამომსხივებელი სენსორიდან მიმღებ სენსორამდე, ტალღის გავლის დრო. კონსტრუქციის ფუძის ნაწილის სიგანეა 80 სმ. შემდეგ ხდება ტალღის სიჩქარის გამოთვლა. საშუალო სიჩქარე, 6 გაზომვის შედეგების მიხედვით, 4676 მ/წმ გამოვიდა. გაზომვის ერთ-ერთი სტანდარტული შედეგი ტალღური ფორმის სახით წარმოდგენილია ნახ. 2-ზე.



**ნახ. 2. ხარისხიან რკინაბეტონის კონსტრუქციაზე ულტრაბგერითი მეთოდით ჩატარებული კვლევის ჩანაწერი**

**გაზომვები შესამონმებელ კონსტრუქციაზე**

შემკვეთის მიერ მითითებულ, ერთ შესამონმებელ რკინაბეტონის კოჭის 80 სმ სიგანის ფუძეში, 15 წერტილში, გაიზომა ულტრაბგერითი ტალღის სიჩქარეები (ნახ.1). კონსტრუქციის სიგრძე არის 40.52 მეტრი. გასაზომი წერტილები დაახლოებით თანაბრად არის განაწილებული. თითოეულ წერტილში გაზომვის შედეგი ტალღური ფორმის სახით წარმოდგენილია ნახ.3-ზე. შემდეგ ხდება სიჩქარის გამოთვლა თითოეული გაზომვისათვის.

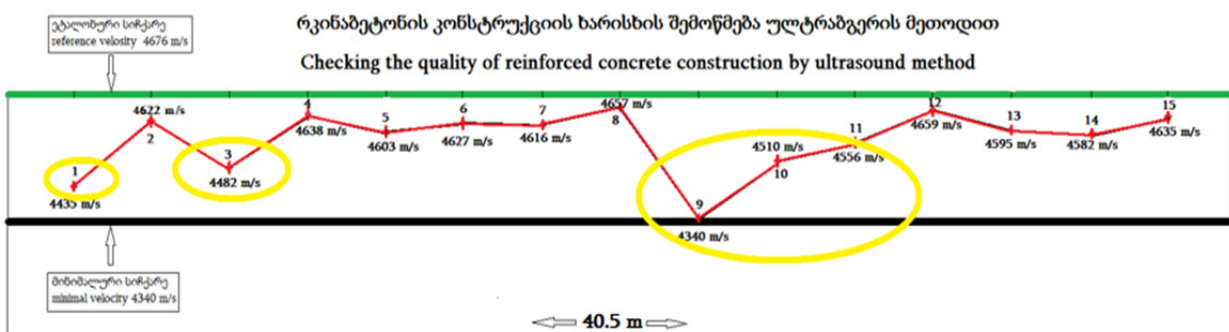


**ნახ. 3. შესამონმებელ რკინაბეტონის კონსტრუქციაზე ულტრაბგერითი მეთოდით ჩატარებული კვლევების რამდენიმე ჩანაწერი (ტალღური ფორმები)**

ცხრილში წარმოდგენილია შესამოწმებელ კონსტრუქციაზე 15 გაზომვის შედეგი. თითოეულ გაზომვის წერტილში ტალღის გავლის დრო და ულტრაბგერითი ტალღის შესაბამისი სიჩქარე. ტალღის სიჩქარეები შესამოწმებელ კონსტრუქციაში ეტალონურ კონსტრუქციასთან შედარებით თვალსაჩინოდ შემცირებულია. საშუალო სიჩქარე არის 4570 მ/წმ. მინიმალური სიჩქარე 4340 მ/წმ. გამოიყოფა სიჩქარის თვალსაზრისით განსაკუთრებით შესუსტებული უბნები (ნახ.4, ყვითლად მონიშნული უბნები). ჩვენი გაზომვებით საკვლევ კონსტრუქციაში გამოიყო 3 ასეთი უბანი. იმისათვის, რომ უფრო დაზუსტდეს დასუსტებული უბნების რაოდენობა, ფართობი და შესუსტების ხარისხი, მიზანშეწონილია გაზომვები ჩატარდეს უფრო მცირე ბიჯით.

**ცხრილი**

შემოწმების წერტილი	კონსტრუქციის სიგანე (სმ)	ულტრაბგერითი ტალღის გავლის დრო (მკწმ)	ულტრაბგერითი ტალღის სიჩქარე (მ/წმ)	საშუალო სიჩქარე (მ/წმ)
1	80	180.3	4435	4570
2	80	173.2	4622	
3	80	178.5	4482	
4	80	172.6	4638	
5	80	173.7	4603	
6	80	172.8	4627	
7	80	173.2	4616	
8	80	172.0	4657	
9	80	184.5	4340	
10	80	177.4	4510	
11	80	175.4	4556	
12	80	171.7	4659	
13	80	174.3	4595	
14	80	174.5	4582	
15	80	172.6	4635	



ნახ. 4. გაზომვის წერტილების და სიჩქარეების განაწილება შესამოწმებელ კონსტრუქციაში.

**დასკვნა**

როგორც წარმოდგენილი ცხრილიდან ჩანს, შესამოწმებელ რკინაბეტონის კონსტრუქციაში ულტრაბგერითი ტალღის სიჩქარე 4340 მ/წმ-დან 4657 მ/წმ-მდე მერყეობს.

ვერც ერთ შემოწმებულ წერტილში ტალღის სიჩქარის მნიშვნელობა ვერ აღწევს ეტალონურ კონსტრუქციაში ულტრაბგერითი ტალღის საშუალო სიჩქარის მნიშვნელობას.

შესამონმებელ კონსტრუქციაში გამოიყოს რამდენიმე უბანი სადაც ტალღის სიჩქარე რამდენიმე ასეული მ/წმ-ით ნაკლებია ეტალონური კონსტრუქციის საშუალო სიჩქარეზე. საჭიროა შესაბამისი მიმართულების სპეციალისტების კონსულტაცია, თუ სიჩქარეების წარმოდგენილი განაწილება რამდენად ჯდება შესამონმებელი კონსტრუქციის რკინაბეტონის ხარისხის სტანდარტებში.

სასურველია ულტრაბგერითი მეთოდით სიჩქარის გაზომვა უფრო მეტ წერტილში, რათა უფრო საიმედოდ გამოიყოს საეჭვო უბნები და შესაბამისად დადგინდეს ბეტონის კონსტრუქციის ხარისხი-ანობა.

## ლიტერატურა

- [1] Mohd T., Mohd K., Sallehuddin I., Mohd A. Y., Mahdi F., Goh P. S., Jaysuman P., Azwad A. Ultrasound computed tomography for material inspection: Principles, design and applications. // Measurement, 146, 2019, pp. 490–523
- [2] Chai H. K., Momoki S., Kobayashi Y., Aggelis D. G., Shiotani T. Tomographic reconstruction for concrete using attenuation of ultrasound. // NDT&E International 44(2), 2011, pp. 206-215
- [3] Varamashvili N., Chelidze T., Chelidze Z., Gigiberia M., N. Ghlonti N. Acoustics in Geophysics and Geomechanics. // Journal of Georgian Geophysical Society, 22(1), 2019, pp. 5-9.
- [4] Varamashvili N., Asanidze B., Jakhutashvili M. Ultrasonic tomography and pulse velocity for nondestructive testing of concrete structures. // Journal of Georgian Geophysical Society, 23(2), 2020, pp. 5-9
- [5] Chelidze T., Gigiberia M., N. Varamashvili N., Ghlonti N., Chelidze L. Investigation of the Depth of Visible Cracks on the Concrete Surface Using the Ultrasonic Method

## STUDY OF THE REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTION OF RICOTI BRIDGE BY ULTRASONIC METHOD

**Varamashvili N., Gigiberia M.**

**Abstract.** *The subject of our research was to study the quality of the part of the reinforced concrete construction of one of the bridges in the Ricoti section of the highway using a non-destructive method. We used the ultrasound method. First ultrasonic (54 kHz) wave speed was determined in a quality (reference) structure identical to the one under study. Then, in the construction under study, at 15 points, the velocity of the ultrasonic wave was determined. As a result of the comparison of the speeds in reference and studied constructions, the deviation of the speeds from the standard value was evaluated. Based on this deviation, it is possible to assess the concrete construction quality. In the presented works, the ultrasonic equipment produced by the Swiss company PROCEQ – Pundit PL-200 was used. Processing of the received material was performed by means of the Pundit – 200 and Pundit – 20PE working program “PL-Link”.*

**Key words:** *ultrasound, reinforced concrete construction, ultrasound speed, reference structure*

## არქეოლოგიური მეთოდების გამოყენების რადიოსახის ფიზიკური მოდელირების მეთოდით გამოკვლეული რადიოსახები

ოდილავაძე დ., ჭელიძე თ., იავოლოვსკაია ო.

თსუ, მ.ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

**ანოტაცია:** გეოლოგიური მეთოდის გამოყენება ფართოდ გავრცელებულია გეოლოგიური შინაარსის მქონე მრავალ დარგში. მნიშვნელოვანი შედეგები მიიღება ურბანული ტექნიკის მრავალი პრობლემური საკითხის გადაწყვეტაში, მრავალი ამოცანის გადაწყვეტა გახდა შესაძლებელი არქეოლოგიური მეთოდების გამოყენებით. [1, 2, 3, 4, 5, 6].

გამოყოფილია ობიექტის რადიოსახე, რომელიც ჩასდევს ობიექტის განთავსების ადგილს და აღემატება მის გეომეტრიულ ზომებს, სივრცულად დაახლოებით სამჯერ. ამდენად, შესაძლებელია საძირკველის ფიზიკური მოდელის და მასშაბადამე, გეოლოგიური ელექტრომაგნიტური ველების მსგავსობის თეორიიდან გამომდინარე სავსე ობიექტის რადიოსახის დაფიქსირება.

**საკვანძო სიტყვები:** არქეოლოგიური მეთოდები, რადიოსახე, ფიზიკური მოდელირება.

### პრობლემა-ამოცანა

არქეოლოგიური სამუშაოების ჩატარებისთვის მნიშვნელოვანია სამიზნე ობიექტების და გეოლოგიური მეთოდების ურთიერთდაშორების შედეგად ობიექტის რადიოსახის დაფიქსირება და გაშიფრა, ანუ ელ. დინამიკის შეზღუდული ამოცანის გადაწყვეტა. ობიექტის რადიოსახის სრულად გამოჩენისათვის რადიოსახე უნდა მდებარეობდეს სამიზნე ობიექტის შორ ზონაში. არქეოლოგიური სამუშაოების წარმოებისას უცნობია სამიზნე ობიექტის მდებარეობის სიშორე, მასშაბადამე შეიძლება ობიექტი მდებარეობდეს როგორც ახლო ზონაში, ისე საშუალო და შორ ზონაში ანტენის მიმართ, რაც ამახინჯებს, ან შეუძლებელსადაც ხდის ობიექტის რადიოსახის დაფიქსირებას და ამოცნობას. ამის შედეგად, არქეოლოგიური სამუშაოებისას, შესაძლებელია მნიშვნელოვანი ინფორმაცია არ იქნას მიღებული.

### მეთოდები და ინსტრუმენტები

გეოფიზიკის ინსტიტუტის, გამოყენებითი და ექსპერიმენტალური გეოფიზიკის სექტორში, გეოლოგიური მეთოდების ფიზიკური მოდელირების დანადგარზე შესრულდა კვლევები საშუალო ზონაში განთავსებული ობიექტების რადიოსახეების დასადგენად, მსგავსობის თეორიაზე დაყრდნობით, სამასშტაბო კოეფიციენტების გამოყენებით.

ჩვენს მიერ შერჩეულ იქნა არქეოლოგიური კვლევისთვის ისეთი მნიშვნელოვანი ობიექტი, როგორც არის კედლის ფუნდამენტის ფრაგმენტის მოდელი. მოდელი შედგება ბაზალტის პარალელურ ნახნაგებიანი არანესიერი ბლოკებისაგან სისქით დაახლოებით 0.05-0.06 მ, საშუალო სიგრძე ვარირებს 0.25-0.35 მ ფარგლებში, ბლოკების შორისეუბი შევსებულია სამოდელი გარემოს შემადგენელი მასალით – სილით. თვით მოდელი წარმოდგენილია სიმრუდის მქონე პარალელეპიპედის მსგავსი ფორმით. მისი არათანაბარი ზომებია საშუალოდ, 0.7x0.3x0.2 მ, ხოლო სიმრუდე ზედაპირის ქვევით იცვლება 0.05-0.10მ.



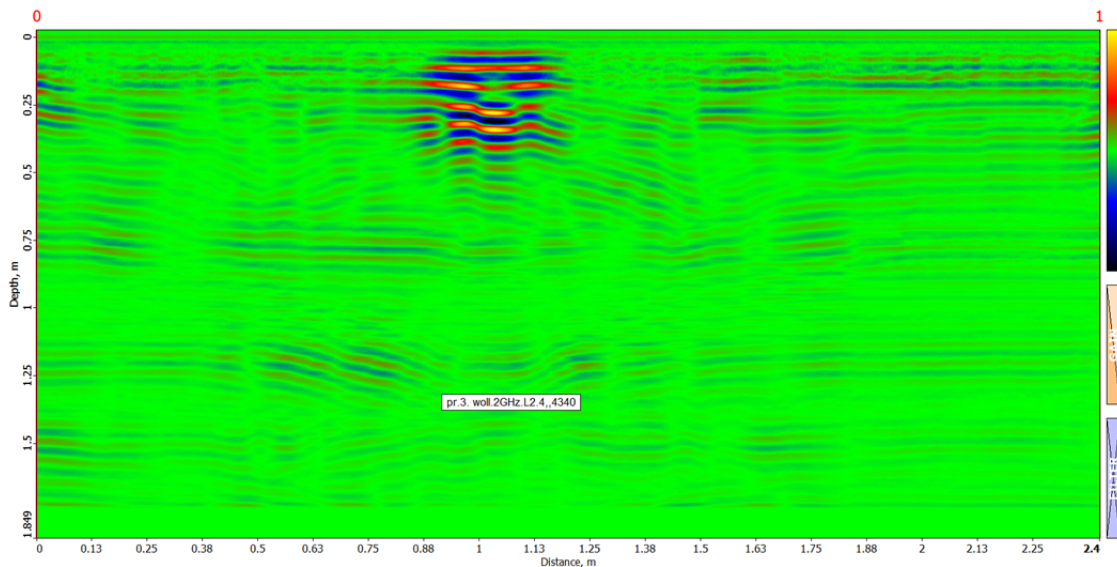
## გეორადიოლოკაცია დღიური ზედაპირიდან

სილაში დაფარულად განთავსებული ობიექტის მიმართ გატარებულ იქნა შვიდი პარალელური პროფილი გრძივი ობიექტის/კედლის ფუნდამენტის მართობულად. ქვემოთ, წარმოდგენილია გრძივი სამოდელო ობიექტისა და გეორადიოლოკაციური პროფილების ურთიერთ განლაგების სქემა.

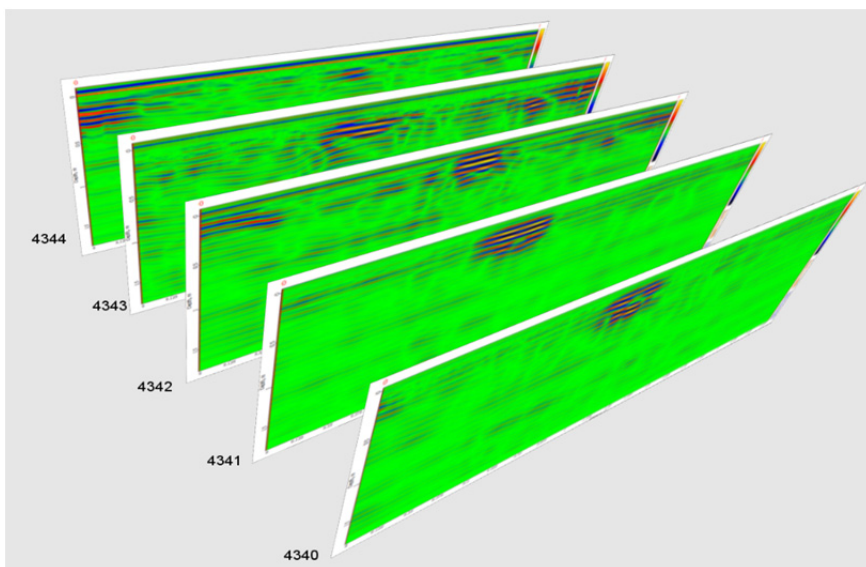
გეორადიოლოკაციური პროფილები შესრულდა გეორადარ Zond 12-e, მიმღებ-გადამცემი საშტატო ანტენა 2GHz, მონაცემები მოძიებული, დამუშავებული და ინტერპრეტირებულ იქნა პროგრამული უზრუნველყოფის Prizm-2.70 გამოყენებით.

განვიხილოთ დიელექტრიკულად და ფრაგმენტალურად რთული შედგენილობის პარალელოპედის გეორადიოლოკაციური ფიზიკური მოდელი.

მოდელი განთავსებულია სილის შემცველი გარემოს 2.4x1.4x1.4მ სამოდელო არეს შიგნით. ჰორიზონტალური გეორადიოლოკაციური ექსპონირების დროს პროფილები პარალელურია და ერთმანეთისგან დაშორებულია 0.12მ მანძილზე.



ნახ. 1. წარმოდგენილია პროფ. 3-ის შესაბამისი რადაროგრამა, შესრულებული გეორადარ Zond12e 2გჰც სიხშირის მიმღებ-გადამცემი ანტენით.

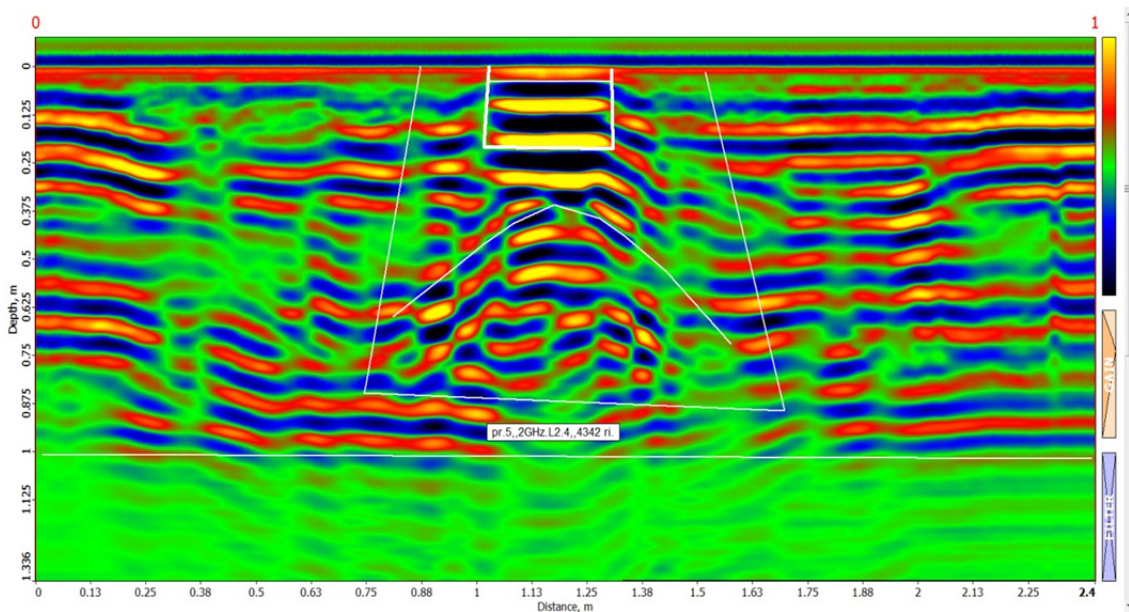


ნახ. 2. ხუთი პროფილი 3-7.



პროფილი-3 ის (ნახ.1) გატარების სვლაზე მკაფიოდ იკვეთება საკვლევი ობიექტის მდებარეობა, შესაბამისად, ჩანს მისი გავლენა რადაროგრამაზე. სამოდულო ობიექტის რადიოსახე იკითხება მკაფიოდ. ობიექტის მდებარეობა შემოისაზღვრება ქვევიდან ბოლო მკაფიო უწყვეტი სინფაზურობის ღერძის მონაკვეთით დისტანციებზე 0.9-1.25მ და სიღრმეზე 0.2მ. ობიექტი არათანაბარი ფილებისგან შედგება და არათანაბრად არის განთავსებული, რაც უმეტეს შემთხვევაში გვხვდება ველზე მუშაობისას არქეოლოგიურ ძეგლებთან მიმართებაში. უშუალოდ, ობიექტის ქვეშ რადიოსახეზე იკვეთება სინფაზურობის ღერძებისგან განლეული სივრცითი არე 1.05-1.13მ დისტანციებზე, ცენტრით 0.25მ დაღრმავებაზე.

ნახ. 2 წარმოდგენილია Voxler4-ის (პროგრამული უზრუნველყოფა) აგებული განხილულიდან ხუთი პროფილი პროფ. 3-7, რომლებიც თანამიმდევრულად ასახვენ რადიოსახის სივრცულ განთავსებას და მათ განსაკუთრებულობას სინფაზურობის ღერძების განლეულობის სახით, ობიექტის დაღრმავების განმსაზღვრელ გამრუდებულად განთავსებულ სინფაზურობის ღერძებს და სახის არათანაბრობას სხეულის არათანაბრობის მიხედვით.



ნახ. 3. მოგვეყავს სიღრმეულად წარმოდგენილი პროფ- 5 ის რადიოსახე.

გამოყოფილია ობიექტის რადიოსახე (ნახ.3), რომელიც ჩასდევს ობიექტის განთავსების ადგილს და აღემატება მის გეომეტრიულ ზომებს სივრცულად, დაახლოებით სამჯერ. ამასთან ობიექტის ქვედა ნაწილი რადიოსახესთან დაკავშირებულია ზოგადად ანტენების მახასიათებლის ე.წ. ელექტრომაგნიტური ველის მიმართულების დიაგრამის შინაარსით, ანუ მკაფიოდ განსაზღვრავს და გამოყოფს მეორადი გამოსხივების ანტენად მიჩნეული ობიექტის ლოკაციას. ამდენად, შესაძლებელია საძირკველის მოდელის და მაშასადამე, გეორადიოლოკაციური ელექტრომაგნიტური ველების მსგავსობის თეორიიდან გამომდინარე სავსე ობიექტის რადიოსახის დაფიქსირება, მკაფიოდ და ცალსახად, სამოდულო კოეფიციენტებზე რიცხვითი გადათვლის შესაბამისად.

სამოდულო ობიექტის დაღრმავება მკაფიოდ განისაზღვრება რადიოსახეზე დაფიქსირებული ბოლო ჰორიზონტალური სინფაზურობის ღერძის მდებარეობით რადაროგრამაზე, როგორც ჰორიზონტალური, ისე ვერტიკალური გეორადიოლოკაციური ექსპოზიციის დროს.

## ლიტერატურა

- [1] Lezhava Z., Tsikarishvili K., Asanidze L., Chikhradze N., Karalashvili T., Odilavadze D., Tarkhishvili A. The results of a complex study of the Turchu limestone hollow (polje). Western Georgia, Caucasus. // European Journal of Geography, BeISSN 1792-1341, Volume 12, Issue 3, 2021, pp. 6–20. doi.org: 10.48088/ejg.z.lez.12.3.006.020.

- [2] Odilavadze D.T., Chelidze T.L. Physical simulation of georadiolocation field in direct and inverse problems of electrodynamics. // Geophysical Journal, Kiev, V.35, №4, 2013, pp. 154-160 (in Russian).
- [3] Odilavadze D.T., Chelidze, T.L. Physical Modeling of Lava Tubes in the GPR. // Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, Publishing house of the Tbilisi State University, ISSN 1512-1135, vol. LXVII, 2017, pp. 129-142.
- [4] Odilavadze D., Chelidze T., Tskhvediashvili G. Georadiolocation Physical Modeling for Disk-Shaped Voids. // Journal of the Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth, Tbilisi, vol. 18, 2015, pp. 26-39
- [5] Odilavadze D., Chelidze T., Ghlonti N., Kiria J., Tarkhnishvili A. Physical modelling of a layered wedge type model in direct and inverse tasks of georadiolocation. // Mikheil Nodia Institute of Geophysics Transactions, Publishing house of the Tbilisi State University, ISSN 1512-1135, Tbilisi, vol. LXIX, 2018, pp. 44-61.
- [6] Odilavadze D., Kiria J., Ghlonti N., Yavolovskaya O. The Results of Archaeogeoradiolocation Investigations of the Territory Inside the Rampart of St. Sophia Church of Khobi. // “Moambe”, Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, V.14, n.4, 2020, pp. 51-56.

## **RADIO IMAGES INVESTIGATED BY THE METHOD OF PHYSICAL MODELING OF AN ARCHAEOGEORADIOLOCATIONALLY COMPLEX BUILDING OBJECT**

**Odilavadze D., Chelidze T., Yavolovskaya O.**

***Abstract:** Georadiolocation method has been widely used in many fields with geological content. Important results are obtained in the solution of many problematic issues of urban engineering, the solution of many tasks has become possible in archaeogeoradiolocation [1, 2, 3, 4, 5, 6].*

*For archaeological work, it is important to fix and decipher the radio image of the object as a result of the mutual distance between the target objects and the georadar antenna. During archaeological work, the distance of the target object is unknown, which distorts or even makes it impossible to fix the radio image of the object.*

*A radio view of the object is allocated, which embeds the location of the object and exceeds its geometric dimensions spatially by approximately three times. At the same time, the lower part of the object is connected to the radio image in general with the so-called feature of antennas.*

*Thus, it is possible to determine the physical model of the foundation and, therefore, the radio image of the field object based on the theory of the similarity of geolocation electromagnetic fields.*

**Key words:** *Archaeogeoradiolocation method, radio image, physical modeling.*

## ჭიათურის მუნიციპალიტეტის ბუნებრივი წყლებისა და ნიადაგების კვლევის შედეგები

\*შავლიაშვილი ლ., \*კუჭავა გ., \*შუბლაძე ე., \*\*ქურციკიძე ო.,  
\*კორძახია გ., \*\*\*გავარდაშვილი გ.

\*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

\*\*საქართველოს გარემოს დაცვისა და სოფლის მეურნეობის სამინისტროს გარემოს ეროვნული სააგენტო

\*\*\*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტი

**ანოტაცია.** ნაშრომში განხილულია 2024 წლის ჭიათურის მუნიციპალიტეტის მარგანეცის გადამამუშავებელი საწარმოების მიმდებარე ტერიტორიებზე არსებული მდ. ყვირილას და წყაროს წყლების ჰიდროქიმიური და მიკრობიოლოგიური დახასიათება; აგრეთვე ნიადაგის ნიმუშების 0-5 და 5-30 სმ სიღრმეზე მანგანუმის საერთო ფორმის განსაზღვრა.

გამოვლენილია სხვადასხვა ინგრედიენტებით დაბინძურებული მდ. ყვირილას და წყაროს წყლები:

- მდ. ყვირილას წყალი მიეკუთვნება საშუალო მინერალიზირებული წყლების კატეგორიას; მანგანუმის კონცენტრაცია ტოლია 2.56 მგ/ლ, რაც შეადგენს 25.6 ზდკ-ს. ეს განპირობებულია იმით, რომ საწარმოს ქვემოთ მდ. ყვირილა დაბინძურებულია მოპოვებული მადნის გარეცხვის შედეგად ჩამდინარე წყლების მდ. ყვირილაში ჩაშვებით; შენონილ ნაწილაკებსა და ფსკერულ ნალექებში Mn-ის საერთო შემცველობა საკმაოდ მაღალია;
- წყაროს წყლები მიეკუთვნებიან საშუალო და მაღალმინერალიზირებული წყლების კატეგორიას; დამაბინძურებელი ინგრედიენტებიდან გამოირჩევა ნიტრიტების და სულფატების მაღალი შემცველობა; მანგანუმის შემცველობა ნორმის ფარგლებშია; მიკრობიოლოგიური პარამეტრების მიხედვით დაბინძურება არ დაფიქსირდა.
- ნიადაგის ნიმუშებში მანგანუმის შემცველობა განსაკუთრებით მაღალია სოფ. დარკვეთის ასახვევთან, სადაც მისი კონცენტრაცია 0-5 სმ სიღრმეზე შეადგენს 53.0, ხოლო 5-30 სმ-ზე – 77.6 გ/კგ. ეს მონაცემები მნიშვნელოვნად მაღალია დასაშვებ ნორმაზე (700 მგ/კგ).

**საკვანძო სიტყვები:** მდ.ყვირილა, წყაროს წყლები, ნიადაგი, მანგანუმი, დაბინძურება.

### შესავალი

საქართველოში, ეკოლოგიის მდგომარეობის მხრივ, ერთ-ერთი მონყვლადი ადგილია ჭიათურის მუნიციპალიტეტი, რომელიც მდებარეობს ზემო იმერეთის ჩრდილოეთ ნაწილში, მდინარე ყვირილას ხეობაში. მუნიციპალიტეტის მთავარ პრობლემას კლიმატის ცვლილების ფონზე წარმოადგენს ბუნებრივი სტიქიური მოვლენების (მენყერები, ღვარცოფები, წყალდიდობა, ქარები, ეროზია და სხვა) გააქტიურება, რასაც ხელს უწყობს მუნიციპალიტეტში სამთო-მოპოვებითი საქმიანობის (მარგანეცის წარმოება) ინტენსიფიკაცია. მადნის მოპოვება მრავალ წინააღმდეგობრივ საკითხს უკავშირდება. ერთი მხრივ, ის შემოსავლის და ახალი სამუშაო ადგილების შექმნის წყაროა. თუმცა, ამას მნიშვნელოვანი ზიანი მოაქვს გარემოსა და ადგილობრივი მოსახლეობისათვის [1,2]. გარემოს დაბინძურების თვალსაზრისით, ძალზე მნიშვნელოვანია სამთო-მოპოვებელი მრეწველობის უარყოფითი გავლენა, განსაკუთრებით, ღია კარიერული წესით საბადოს დამუშავებისას. ეს უკანასკნელი ბუნებრივია, ბევრად რენტაბელურია მადნის მინისქვეშა დამუშავებასთან შედარებით. შესაბამისად, იზრდება წყობიდან გამოსული მინის ფართობები. საკითხი მნიშვნელოვანია მთიანი რეგიონებისთვის, მათ შორის ჭიათურის მუნიციპალიტეტის ტერიტორიისთვის, რომლის მოსახლეობა სა-

უკუნეზე მეტია განიცდის მადნის მოპოვების უკიდურესად უარყოფით ზემოქმედებას. სავარაუდოა, ეკოსისტემების და სასურსათო პროდუქტების დაბინძურება; ნიადაგის დეგრადაცია; დიდი მატერიალური ზარალი და სხვა [3].

ჭიათურის მუნიციპალიტეტში კომპანია „ჯორჯიან მანგანუმი“ ახორციელებს მანგანუმის კონცენტრატის მოპოვებით სამუშაოებს შახტური მეთოდით, მაგრამ ლიცენზიები გაცემულია წვრილ კერძო კომპანიებზეც. მუნიციპალიტეტში დაახლოებით 20 საბადოა, აქედან 9 შახტური და 11 ღია კარიერული ტიპის. 1879 წელს დაიწყო მადნის დამუშავება. <https://socialjustice.org.ge>.

ჭიათურაში მანგანუმის მოპოვების შედეგად დიდი ზიანი ადგება იქ არსებულ ჰიდროგრაფიულ ქსელს, კერძოდ რგანის ლელესა და მდინარე ყვირილას. ჭიათურის მუნიციპალიტეტში მდინარე ყვირილა ქვაბულში მიედინება, ამიტომ არ ხდება მისი გამოყენება სარწყავ სისტემაში, რადგან სოფლებისა და მდინარის ადგილმდებარეობის გამო გართულებულია ეს პროცესი.

ჭიათურაში მადნის მომპოვებელი შახტები და ღია კარიერები განლაგებულია მდინარის პირზე და მადნის გასარეცხად იყენებენ მდინარე ყვირილას წყალს, რის შედეგადაც მდინარე საგრძობლად ბინძურდება. მადნის რეცხვის პროცესში წარმოქმნილი სანარმოო ჩამდინარე წყალი, დიდი რაოდენობით შეიცავს შენონილ ნაწილაკებს, მძიმე ლითონებს, მანგანუმის ნაერთებს და განმწმენდის გარეშე ჩაედინება მდ. ყვირილაში. გარდა ამისა, მდინარე ყვირილას მარცხენა სანაპიროზე განთავსებულ სანაყაროზე დასაწყობებულია დაახლოებით 805 845 ტონა აგლომერატი, რომელიც საშუალოდ შეიცავს 15.4% მანგანუმს. ნალექების ზემოქმედებით აგლომერატი ჩაირეცხება მდ. ყვირილაში და ინვეს მის დამატებით დაბინძურებას [4].

ნიადაგისა და გრუნტის დაზიანება ან დაბინძურება და აქედან გამომდინარე, ნიადაგის დეგრადაცია მოსალოდნელია კარიერის გადახსნის სამუშაოების შესრულების პროცესში.

მანგანუმის მოპოვების დროს ატმოსფერულ ჰაერში გამოიყოფა მანგანუმის ოქსიდი მტვრის სახით. ქარი და ნალექი ხელს უწყობს მის გავრცელებას და დალექვას მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე [5].

მანგანუმი ადამიანისა და ცხოველებისთვის მნიშვნელოვანი ელემენტია. მცირე კონცენტრაციით მანგანუმს ადამიანის თითქმის ყველა ორგანო შეიცავს. უარყოფითი ეფექტი შეიძლება გამოიწვიოს როგორც დეფიციტმა ასევე გადაჭარბებულმა ზემოქმედებამ. მანგანუმი არ ინვეს მწვავე მონამვლას. ის წარმოადგენს კუმულაციური მოქმედების შხამს და დროის განმავლობაში ორგანიზმზე ზემოქმედებისას ახასიათებს მრავალმხრივი გამოვლენა და ინვეს შემდეგ პროფესიულ დაავადებებს: მანგანიზმს, ბრონქულ ასთმას, ალერგიულ დერმატიტს და სხვა [6].

## საკვლევი ზონა და მეთოდები

ნაშრომში მოცემულია ჭიათურის მუნიციპალიტეტის მარგანეცის გადამამუშავებელი საწარმოების მიმდებარე ტერიტორიებზე არსებული მდ. ყვირილას წყლების ფიზიკურ-ქიმიური და ჰიდროქიმიური დახასიათება. მდ. ყვირილას წყლის სისუფთავის დადგენა აუცილებელია, რადგან მდ. ყვირილას წყლით აწარმოებენ მოპოვებული მადნის გარეცხვას, რის შემდეგაც ჩამდინარე წყლები ჩაედინება მდინარეში და ხდება მისი დაბინძურება.

დასახული ამოცანების გადაწყვეტისათვის აღებული იყო წყაროს წყლები და მდ. ყვირილას წყლის სინჯები ფონური და დაბინძურების წყაროს ქვემოთ. აგრეთვე მდ.ყვირილას შენონილი ნაწილაკები და ფსკერული ნალექები.

აღებულ წყლის სინჯებში განისაზღვრა: ფიზიკურ-ქიმიური და ჰიდროქიმიური პარამეტრები, კერძოდ: pH, ელექტროგამტარობა, ბიოგენური ნივთიერებები –  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , ძირითადი იონები, მინერალიზაცია, მძიმე ლითონები: Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Co და მანგანუმის საერთო ფორმა [7] და მიკრობიოლოგიური პარამეტრები: E-coli, ტოტალური კოლიფორმები, ფეკალური სტრეპტოკოკები [8].

აღებული იყო აგრეთვე ნიადაგის ნიმუშები დაბინძურების წყაროს მიმდებარე ტერიტორიიდან და ფონური ადგილებიდან 0-5, 5-30 სმ სიღრმეზე; მოხდა ნიადაგის ნიმუშების დამუშავება: გაშრობა, გაფხვიერება, გაცრა და მანგანუმის საერთო ფორმის განსაზღვრა [9].

ანალიზები ჩატარდა თანამედროვე მეთოდებისა და აპარატურის გამოყენებით, რომლებიც აკმაყოფილებს და შეესაბამება ევროპულ სტანდარტებს, კერძოდ:

1. იონ-ქრომატოგრაფი – IC-1000; ISO100304-1:2007
2. სპექტროფოტომეტრული მეთოდი – SPECORD 205; ISO 7150-1: 2010;
3. პლაზმურ-ემისიური სპექტრომეტრი – ICP-OES; Epa method 200.8;
4. ნიადაგის დამშლელი – Milestone – Start D Microwave system;
5. საველე პორტატული აპარატურა – Hanna Combo pH/EC/TDS/PPM Tester HI98129;
6. IDEX-აპარატი
7. pH-მეტრი – Milwaukee-Mi 150.

## შედეგების განხილვა

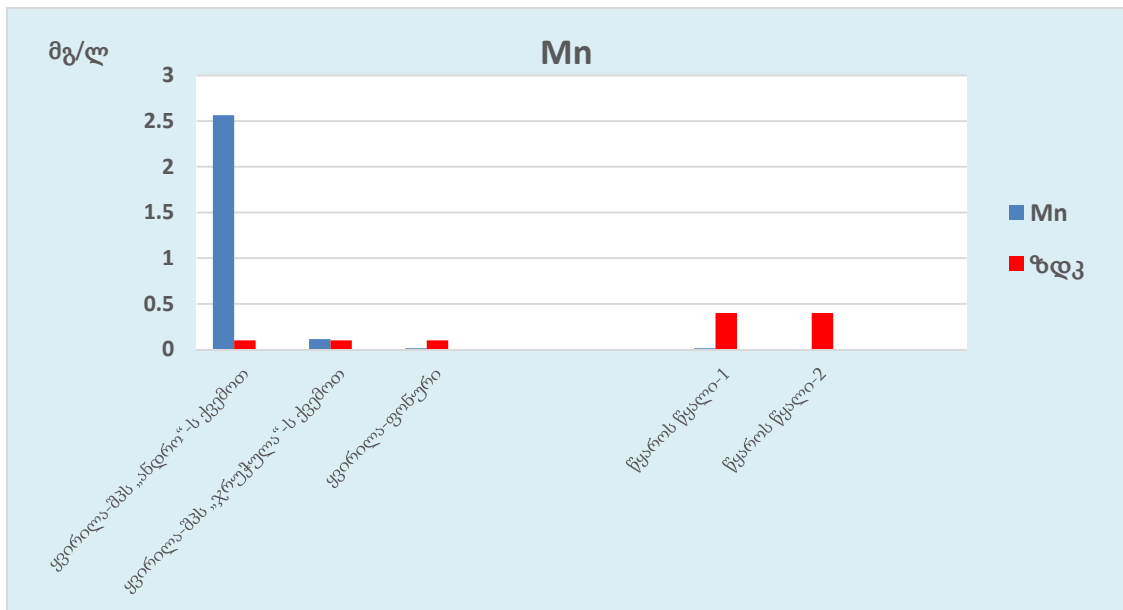
ცხრ. 1-ში მოცემულია მდ.ყვირილას ფიზიკურ-ქიმიური და ჰიდროლოგიური მონაცემები.

2	ელექტროგამტარობა, $\mu\text{sms/cm}$	1100	330	230	450	1170		
3	ჟბმ <sub>5</sub> , მგ/ლ	3.14	1.62	1.21	3.12	3.24	6.0	6.0
4	სიხისტე, მგ.ექვ/ლ	6.24	3.41	2.24	4.90	9.12	7-10	
5	ამონიუმი, მგN/ლ	0.185	0.199	0.218	0.169	0.193	0.39	0.39
6	ნიტრიტები, მგ/ლ	0.059	0.027	0.061	0.761	0.259	0.2	3.3
7	ნიტრატები, მგ/ლ	1.641	1.254	1.621	11.55	13.31	50	45
8	ფოსფატები, მგ/ლ	0.268	0.165	0.141	0.281	0.386	3.5	3.5
9	სულფატები, მგ/ლ	536.38	26.70	19.01	76.58	510.85	250	500
10	ქლორიდები, მგ/ლ	8.57	7.20	3.22	9.27	14.38	250	350
11	ბრომი, მგ/ლ	0.052	0.016	0.022	0.028	0.109		
12	ფტორი, მგ/ლ	0.278	0.129	0.036	0.115	0.377	0.7	
13	ჰიდროკარბონატები, მგ/ლ	265.96	212.28	148.84	241.56	283.04		
14	კალიუმი, მგ/ლ	238.68	20.93	17.28	17.25	169.43		
15	ნატრიუმი, მგ/ლ							
16	კალციუმი, მგ/ლ	82.21	43.48	27.09	53.83	137.01		
17	მაგნიუმი, მგ/ლ	26.07	15.05	10.86	26.91	27.86		
18	მინერალიზაცია, მგ/ლ	1159.32	327.20	227.32	441.13	1156.40	1000-1500	
19	E-Coli, 1 დმ <sup>3</sup> -ში				არ/აღ	არ/აღ	არ დაიშვე ბა	
20	ტოტალური კოლიფ. 1 დმ <sup>3</sup> -ში				არ/აღ	არ/აღ		
21	ფეკალური სტრეპტოკ.1 დმ <sup>3</sup> -ში				არ/აღ	არ/აღ		
22	მანგანუმი, მგ/ლ	2.5649	0.1136	0.0150	0.0154	0.0030	0.4	0.1
23	სპილენძი, მგ/ლ	0.0134	0.0024	0.0040	0.0028	0.0008	2.0	1.0
24	თუთია, მგ/ლ	0.0054	0.0035	0.0012	0.0031	0.0009	3.0	1.0
25	ტყვია, მგ/ლ	0.0023	0.0011	0.0008	0.0021	0.0015	0.01	0.05
26	კადმიუმი, მგ/ლ	0.0002	0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001	0.003	0.001
27	ნიკელი, მგ/ლ	0.0005	0.0023	0.0007	0.0010	0.0005	0.07	0.1
28	კობალტი, მგ/ლ	0.0004	0.0007	0.0003	0.0012	0.0009		0.1

\* – ზღკ – ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტის შესაბამისად (საქართველოს მთავრობის დადგენილება №58 2014 წლის 15 იანვარი ქ. თბილისი)

\*\* – ზღკ – ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია ზედაპირული წყლის ტექნიკური რეგლამენტის შესაბამისად (საქართველოს მთავრობის დადგენილება №425, 2013 წლის 31 დეკემბერი, ქ. თბილისი)

როგორც ცხრ.1-დან ჩანს, ყვირილა-შპს „ანდრო“-ს და ყვირილა-შპს „ჯრუჭულა“-ს ქვემოთ აღინიშნება pH -ის გადახრა ტუტე მიმართულებით და შეადგენს 8.1-8.2 ყვირილა ფონურთან (7.7) შედარებით. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ თითქმის ყველა ინგრედიენტის შემცველობა გაცილებით მაღალია ყვირილა-შპს „ანდრო“-ს ქვემოთ ყვირილა – „ჯრუჭულასთან“ და მით უმეტეს, ფონურთან შედარებით, მხოლოდ სულფატების შემცველობა 1.1-ჯერ აღმატება ზდკ-ს. მაღალია ჰიდროკარბონატების, ნატრიუმისა და კალიუმის ჯამი, კალციუმის, მაგნიუმის რაოდენობა. აღნიშნულ საწარმოსთან ყვირილას წყლის მინერალიზაცია მაღალია და შეადგენს 1159.32 მგ/ლ, ხოლო მდ. ყვირილას მინერალიზაცია ფონურ ნერტილში არის 227.20 მგ/ლ და წარმოადგენს საშუალო მინერალიზირებულს [10]. საგანგაშო მდგომარეობაა მანგანუმის შემცველობის მიხედვით მდ. ყვირილაში შპს „ანდრო“-ს ქვემოთ, სადაც მანგანუმის კონცენტრაცია ტოლია 2.56 მგ/ლ, რაც 25.6 ზდკ-ს შეადგენს. ეს განპირობებულია იმით, რომ მდ. ყვირილა დაბინძურებულია მოპოვებული მადნის გარეცხვის შედეგად ჩამდინარე წყლების მდ. ყვირილაში ჩაშვებით.



ნახ. 1. მდ. ყვირილას და წყაროს წყლებში მანგანუმის შემცველობა, მაისი, 2024

წყაროს წყლებიდან ინგრედიენტების მაღალი შემცველობით გამოირჩევა მეორე წყაროს წყალი. ნიტრიტების, სულფატების რაოდენობა აღემატება ზდკ-ს, შესაბამისად, 1.3 და 2.0-ჯერ. მინერალიზაცია შეადგენს 1156,40 მგ/ლ და მიეკუთვნება მაღალ მინერალიზირებული წყლების კატეგორიას. თუმცა პირველ წყაროში ნიტრიტების შემცველობა 3.8-ჯერ აღემატება ზდკ-ს. ორივე წყაროს წყალში მანგანუმის შემცველობა ნორმის ფარგლებშია.

განსაზღვრული მძიმე ლითონებიდან, მანგანუმის გარდა, არც ერთი ლითონი არ აღმოჩნდა ზდკ-ზე მეტი რაოდენობით, ხოლო წყაროს წყლებში განსაზღვრული მიკრობიოლოგიური პარამეტრების მიხედვით დაბინძურება არ დაფიქსირდა.

ცხრ. 2-ს მიხედვით მდ. ყვირილას შენონილ ნაწილაკებსა და ფსკერულ ნალექებში Mn-ის შემცველობა მაღალია, განსაკუთრებით მაღალია მისი შემცველობა შპს „ანდრო“-ს ქვემოთ მდ. ყვირილაში შპს „ჯრუჭულა“-სთან შედარებით. ამავე დროს ფსკერულ ნალექებში უფრო მაღალია Mn-ის შემცველობა შენონილ ნაწილაკებთან შედარებით და შესაბამისად შეადგენს 68.5 და 58.3 გ/კგ. ხოლო ფსკერულ ნალექებში მანგანუმის შემცველობა „ჯრუჭულასთან“ შეადგენს 66.7 და შენონილ ნაწილაკებში – კი 23.6 გ/კგ. ამავე დროს უნდა აღინიშნოს ის ფაქტი, რომ მდ. ყვირილას წყლის ფერი მოშავოა საწარმოების მიმდებარედ, რაც განპირობებულია მაღალი რაოდენობის სედიმენტებისა და შენონილ ნაწილაკების შემცველობით.



**ცხრილი 2. მდ. ყვირილას შენონილ ნაწილაკებსა და სედიმენტებში  
Mn-ის შემცველობა მაისი, 2024**

№	სინჯის ალების ადგილი	კოორდინატები	ანალიზის შედეგი	
			გ/კგ	%
	<b>შენონილი ნაწილაკები</b>			
1	ყვირილა-შპს „ანდრო“-ს ქვემოთ	X-363027 Y-4686103	58.3	5.83
2	ყვირილა-შპს „ჯრუჭულა“-ს ქვემოთ	X-363791 Y-4686878	23.6	2.36
	<b>სედიმენტები</b>			
1	ყვირილა-შპს „ანდრო“-ს ქვემოთ	X-363027 Y-4686103	68.5	6.85
2	ყვირილა-შპს „ჯრუჭულა“-ს ქვემოთ	X-363791 Y-4686878	66.7	6.67

ცხრ. 3-ში მოცემულია მდ. ყვირილას მიმდებარე ზოგიერთი სოფლის ნიადაგებში Mn-ის შემცველობა.

**ცხრილი 3. მდ. ყვირილას მიმდებარე ზოგიერთი სოფლის  
ნიადაგებში Mn-ის შემცველობა, მაისი, 2024**

№	სინჯის ალების ადგილი	კოორდინატები	ანალიზის შედეგი	
			გ/კგ	%
1	სოფ. დარკვეთი, 0-5 სმ	-	9.71	0.971
2	სოფ. დარკვეთი, 5-30 სმ		8.46	0.846
3	სოფ. დარკვეთის ასახვევი 0-5 სმ	X-363037	53.0	5.300
4	სოფ. დარკვეთის ასახვევი 5-30 სმ	Y-4686104	77.6	7.759
5	შპს „ჯრუჭულა“-ს ზემოთ 100 მ 0-5 სმ	X-363795	30.3	3.031
6	შპს „ჯრუჭულა“-ს ზემოთ 100 მ 5-30 სმ	Y-4686866	30.4	3.041

როგორც ცხრ. 3-დან ჩანს, ნიადაგის ნიმუშებში მანგანუმის შემცველობა მოცემულია გ/კგ და %-ში. განსაკუთრებით მაღალია მისი შემცველობა სოფ. დარკვეთის ასახვევთან, სადაც მანგანუმის კონცენტრაცია 0-5 სმ სიღრმეზე შეადგენს 53.0, ხოლო 5-30 სმ-ზე – 77.6 გ/კგ. ეს მონაცემები მნიშვნელოვნად მაღალია დასაშვებ ნორმაზე (700 მგ/კგ), რაც მიუთითებს ნიადაგში მანგანუმის მაღალ შემცველობაზე.

**დასკვნა**

- მდ. ყვირილას pH მერყეობს 7.7-8.2 ფარგლებში, ხოლო წყაროს წყლებში – 7.8-8.3 ფარგლებში;
- მდ. ყვირილას წყლებში, როგორც ფონური, ისე დაბინძურებული ადგილებიდან აღებულ სინჯებში ძირითადი კათიონები და ანიონები არ აღემატება ზღვ-ს და ნორმის ფარგლებშია. მხოლოდ ერთ შემთხვევაში დაფიქსირდა სულფატ იონების მატება მდ.ყვირილაში სანარმოს ქვევით. ზოგადად, მდ. ყვირილას წყალი მიეკუთვნება საშუალო მინერალიზირებული წყლების კატეგორიას;
- მდ. ყვირილაში მანგანუმის კონცენტრაცია ტოლია 2.56 მგ/ლ, რაც შეადგენს 25.6 ზღვ-ს. ეს განპირობებულია იმით, რომ სანარმოს ქვემოთ მდ. ყვირილა დაბინძურებულია მოპოვებული მადნის გარეცხვის შედეგად ჩამდინარე წყლების მდ. ყვირილაში ჩაშვებით;

- წყაროს წყლებში დამაბინძურებელი ინგრედიენტებიდან გამოირჩევა ნიტრიტების (3,8 ზდკ) და (1.3 ზდკ); სულფატების (2.0 ზდკ) მაღალი შემცველობა; ისინი მიეკუთვნებიან საშუალო და მაღალ მინერალიზირებული წყლების კატეგორიას;
- ორივე წყაროს წყალში მანგანუმის შემცველობა ნორმის ფარგლებშია;
- მდ. ყვირილას შენონილ ნაწილაკებსა და ფსკერულ ნალექებში Mn-ის საერთო შემცველობა საკმაოდ მაღალია;
- განსაზღვრული მძიმე ლითონებიდან, მანგანუმის გარდა, არც ერთი ლითონი არ აღმოჩნდა ზდკ-ზე მეტი შემცველობით;
- წყაროს წყლებში განსაზღვრული მიკრობიოლოგიური პარამეტრების მიხედვით დაბინძურება არ დაფიქსირდა;
- ნიადაგის ნიმუშებში მანგანუმის შემცველობა განსაკუთრებით მაღალია სოფ. დარკვეთის ასახვევთან, სადაც მისი კონცენტრაცია 0-5 სმ სიღრმეზე შეადგენს 53.0, ხოლო 5-30 სმ-ზე – 77.6 გ/კგ. ეს მონაცემები მნიშვნელოვნად მაღალია დასაშვებ ნორმაზე (700 მგ/კგ).

შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტის № FR-23-6375 ხელშეწყობით

## ლიტერატურა

- [1] „მოპოვებითი მრეწველობის ზეგავლენა განვითარებად ქვეყნებზე“, დედამინის მეგობრები – ევროპა, 2007. <http://www.foeeurope.org/corporates/Extractives/social.pdf>;
- [2] საქართველოს კანონი საშიში საწარმოო ობიექტის უსაფრთხოების შესახებ, 10.12.1997
- [3] წერეთელი ე., გობეჯიშვილი რ., ბოლაშვილი ნ., გაფრინდაშვილი გ., ნანობაშვილი თ. ბუნებრივი ეგზოგენური კატასტროფების მდგომარეობა და ანთროპოგენური დატვირთვის საშიშროების რისკი საქართველოში, მათი მართვის ოპტიმიზაციის ქმედებები. // ვ.ბაგრატიონის გეოგრაფიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №4 (83), თბილისი, 2012, გვ. 50-63.
- [4] სსიპ გრიგოლ წულუკიძის სამთო ინსტიტუტი. სამეცნიერო-კვლევითი ფირმა „გამა“. შპს „ჯორჯიან მანგანუმი“. ჭიათურის სამთო-გამამდიდრებელი კომბინატის მიმდინარე საქმიანობის პროცესში წარმოქმნილი ნარჩენების მართვის გეგმა. ქ. ჭიათურა, 2010.
- [5] დაბინძურებული ჰაერი და წყალი – დისკუსია ჭიათურის ეკოლოგიურ პრობლემებზე: 2018. <http://liberali.ge/news/view/15643/dabindzurebuli-haerida-tsyali--diskusia-chiaturis-ekologiur-problemebze>
- [6] საქართველოს შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის მინისტრის ბრძანება N 216/ნ, პროფესიული დაავადებების ნუსხისა და იმ პროფესიული საქმიანობის ჩამონათვალის დამტკიცების შესახებ, რომელსაც თან ახლავს პროფესიული დაავადების განვითარების რისკი. 13.07.2007.
- [7] Фомин Г.С., Фомин А.Г. Вода. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. // Справочник. Москва, 2001;
- [8] Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. //Гидрометеоиздат, Ленинград, 1983, 240 ст.
- [9] Фомин Г.С. Фомин А.Г. Почва, контроль качества и экологические безопасности по междуна родным стандартам. // Москва, ВНИИ стандарт, 2001, 300 ст.
- [10] სუპატაშვილი გ. გარემოს ქიმია (ეკოქიმია). //თბილისი, უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2009, 187 გვ.

## RESULTS OF RESEARCH OF NATURAL WATERS AND SOILS OF CHIATURA MUNICIPALITY

**Shavliashvili L., Kuchava G., Shubladze E., Kurtsikidze O., Gavardashvili G., Kordzakhia G.**

*Abstract. Hydrochemical and microbiological characteristics of Kvirila River water and spring waters of territories adjacent to Chiatura municipality manganese processing enterprizes have been considered in the work.*

*Kvirila River water and spring waters contaminated with different ingredients have been identified:*

- *Kvirila River water belongs to the category of medium-salt (average mineralization) waters; manganese concentration equals to 2.5649 mg/l, which comprises 25.6 MPC (maximum permissible concentration). This is stipulated by the fact that Kvirila River below the enterprise is polluted with waste waters resulting from extracted ore washing, which are dumped into Kvirila River; total Mn content in suspended particles and bottom sediments is very high compared to the background level;*
- *spring water belong to the category of medium-salt and highly mineralized waters; among polluting ingredients nitrites and sulfates are distinguished by their high content; manganese content is within the norm; no contamination according to microbiological parameters is registered.*
- *Manganese content in soil samples is particularly high in the village near Darkveti winding, where its concentration at a depth of 0-5 cm is 53.0, and at a depth of 5-30 cm – 77.6 g/kg. These data are significantly higher than the permissible norm (700 mg/kg).*

**Key words:** *Kvirila River, spring waters, soil, manganese, pollution.*

## წყალმოვარდნების განახლებული უდიდესი მაქსიმალური ხარჯები დასავლეთ საქართველოს მდინარეებზე წყალსამეურნეო განვითარებისათვის

ბასილაშვილი ც.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

**ანოტაცია:** მოცემულია დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა მთავარ 29 ჰიდროკვებზე დაზუსტებული წყლის საშუალო წლიური და მაქსიმალური ხარჯების ნორმები, მათი ექსტრემალური მნიშვნელობები და ცვალებადობის მახასიათებლები, მიღებული 1991–2022 წლების დაკვირვებათა ყოველწლიური მონაცემების დამატებით. მათი გათვალისწინება აუცილებელია სამეცნიერო, სამეურნეო და საპროექტო ორგანიზაციებში წყალსამეურნეო განვითარების სანარმოებლად, ნაგებობათა ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების განსაზღვრისა და რაც მთავარია, მოსახლეობისა და გარემოს უსაფრთხოებისათვის.

**საკვანძო სიტყვები:** ზარალი, მსხვერპლი, უსაფრთხოება.

დედამინაზე კლიმატის დათბობის შედეგად, ბოლო 50 წლის მანძილზე ჰაერის ტემპერატურამ  $1^{\circ}\text{C}$  ით მოიმატა, რამაც განაპირობა აორთქლების მატება, რომელიც გარკვეულ პირობებში კონდენსირდება უხვი ნალექების სახით, რაც ხშირად იწვევს კატასტროფულ წყალმოვარდნებს. ამიტომ გაიზარდა მათგან მიყენებული ზარალი და მსხვერპლი. ამ მხრივ, მეტად დიდი საშიშროება იქმნება მთის მდინარეებზე. ამის მაგალითია დასავლეთ საქართველო, სადაც კავკასიონის მაღალი მთებიდან წამოსული მდინარეები მძლავრ ნაკადებად მიედინებიან დაბლობებისაკენ და ჩაედინებიან შავ ზღვაში. აქ კატასტროფებს ხელს უწყობს ის ფაქტიც, რომ გაიზარდა კავკასიონზე არსებული მყინვარების დნობის ინტენსივობა, რომელთაც სადღეისოდ საშუალოდ 2 კმ-ით დაიხიეს უკან. ამის შედეგად, ბოლო სამი ათეული წლის განმავლობაში, მდინარეებზე განმეორდა მასშტაბური კატასტროფები, რომლებმაც ქვეყნის მოსახლეობას, ეკონომიკასა და გარემოს დიდი ზიანი მიაყენა.

ყველაზე დიდი მასშტაბურობით აქ გამოირჩეოდა 2005 წლის წყალმოვარდნები, რასაც მაშინ ხელი შეუწყო ნორმაზე 2-3-ჯერ მეტი ინტენსიური ხასიათის ატმოსფერული ნალექების მოსვლამ. ადიდებულმა მდინარეებმა სვანეთში, რაჭა-ლეჩხუმში, იმერეთში, სამეგრელოსა და აჭარაში გაარღვიეს ნაპირსამაგრი ჯებირები, წყალმა წალეკა გზები, ხიდები, ნაგებობები, საცხოვრებელი სახლები, სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები, კომუნიკაციები, აგრეთვე მრავალი პირუტყვი და შინაური ფრინველი. ბევრი დასახლება მოწყდა გარე სამყაროს. იყო ადამიანთა მსხვერპლიც [1].

კატასტროფული წყალმოვარდნები იყო აგრეთვე 2008 წლის სექტემბერ-ოქტომბერში ბათუმში, ქობულეთში, ფოთში, სადაც დღე-ღამური ნალექები ზოგან 160-180 მმ-ს აღემატებოდა. დაიტბორა ქ. ფოთი, რომელიც 1895 წელს 5-6 მ წყლით დატბორვის შემდეგ აღარ დატბორილა. ასევე დაიტბორა ასობით ჰექტარი ნათესები, ელექტროსადგურები, დაინგრა საცხოვრებელი სახლები, ხიდები, დაიღუპა 8 ადამიანი [2].

აღსანიშნავია, რომ გავლილი წყალმოვარდნების ფოტოსურათები არის მეცნიერული ბაზა და დოკუმენტური საბუთი მოსალოდნელი კატასტროფული მოვლენების თავიდან აცილების ღონისძიებათა დასაბუთებისათვის. სურ. 1-ზე გამოსახულია 1987 წლის 1 თებერვალს მდ. რიონის წყალმოვარდნა სოფ. ჭალადიძეში, რაც გამოიწვია იმ სავალალო ფაქტმა, რომ მაშინ ადიდებული მდინარის წყლის  $5000 \text{ მ}^3/\text{წმ}$  ხარჯს, დაემატა ვარციხის წყალსაცავის ერთდროული დაცლის შედეგად

1600 მლნ მ<sup>3</sup> წყალი. ამის გამო გაირღვა სანაპირო დამბა და დაიტბორა ტერიტორიები, დაიღუპა 18 ადამიანი, უამრავი შინაური პირუტყვი და ფრინველი. ზარალმა მასშინ 550 მლნ ლარი შეადგინა [2].



**სურ. 1. მდ. რიონის წყალმოვარდნა სოფ. ქალაღიღში 1987 წელს. (ფოტო ვერტმფრენიდან)**

მას შემდეგ, კვლავ მიმდინარეობდა მდინარეებზე წყალმოვარდნების ფორმირება, რომელთაც მოჰქონდათ მნიშვნელოვანი ზიანი, როგორც გარემოზე, ასევე მოსახლეობასა და ქვეყნის ეკონომიკაზე. ბოლო დროს, განსაკუთრებით შემზარავი იყო 2023 წლის 3 აგვისტოს კურორტ შოვში მომხდარი კატასტროფა, როდესაც რამდენიმე დღის განმავლობაში უხვი ნალექების შედეგად მთებში მოწყდა ქანები, რომლებმაც მოგლიჯა მყინვარული მასა. ამ მძლავრმა ინერტულმა მასამ 7-8 წუთში დაფარა და გაანადგურა კურორის ტერიტორიაზე მდებარე კოტეჯები, იმსხვერპლა 33 ადამიანი, 210 ადამიანი კი იმავე დღეს ვერტმფრენებით იქნა ევაკუირებული. ამგვარი პროცესების გახშირება გამოიწვია ატმოსფერული ნალექების განმეორებადობის გაზრდამ, და რაც მთავარია იმ ფაქტმა, რომ საქართველოში 3 ათასამდე ღვარცოფული ტიპის მდინარის აუზია. ადრე, ამ აუზებში ღვარცოფული მოვლენები წელიწადში საშუალოდ ორჯერ მეორდებოდა, ახლა კი, ის უკვე 4-ჯერ მეორდება.

ასევე გახშირდა მეწყრული მოვლენები, რადგან საქართველოს ტერიტორიაზე 55 ათასამდე მეწყრული სხეულია, რომელთა ჩამოშლას ხელს უწყობს გადაუდებელი ხასიათის უხვი ნალექები, რის გამოც გახშირდა მეწყრული მოვლენების განვითარება, რაც დიდ ზიანს აყენებს გარემოსა და მოსახლეობას. მაგალითად, 2024 წლის 7 თებერვალს ბაღდათის რაიონში მოვიდა თვის ნორმის 46 % ნალექი, რის შედეგად გვიან ღამით სოფ. ნერგეთში მოწყდა რა ქანები, ჩამოწვა მეწყერი, რომელმაც დაანგრია საცხოვრებელი სახლები და იმსხვერპლა 9 ადამიანი. ამრიგად, დასავლეთ საქართველოში წყალმოვარდნები დროთა განმავლობაში კი არ ცხრებიან, არამედ პირიქით, ძლიერდებიან, რის გამოც იზრდება მათგან მიყენებული ზარალი და მსხვერპლი.

მოსახლეობისა და გარემოს ეკოლოგიური და ქვეყნის ეკონომიკური უსაფრთხოებისათვის, მთავარი განმსაზღვრელი არის წყალმოვარდნების უდიდესი მაქსიმალური ხარჯები. ამიტომ ყველა სახის წყალსამეურნეო და სხვა ნაგებობათა პროექტების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების დაგეგმარებისათვის აუცილებელია მათი მახასიათებლების შესწავლა. დასავლეთ საქართველოს მდინარეებზე წყალმოვარდნების გავლისა და მათგან მიყენებული ზარალი აღწერილია [1, 2] ნაშრომებში. 1991 წლამდე არსებულ დაკვირვებათა მონაცემებით მიღებული მაქსიმალური ხარჯების შესაბამისი მახასიათებლები კი, მოცემულია [3, 4] ნაშრომებში.

სადღეისოდ, კლიმატის აქტიური დათბობის პირობებში, გახშირდა რა წყალმოვარდნები, მათგან მიყენებული მავნე შედეგების აცილების მიზნით, მთავარ პრობლემად იქცა მდინარეთა მაქსიმალური ხარჯების დაზუსტება დაკვირვებათა ახალი მონაცემების საფუძველზე. ამ მიზნით, 29 ჰიდროკვეთისათვის შედგენილ იქნა წყალმოვარდნების ყოველწლიური უდიდესი მაქსიმალური წყლის ხარჯების მონაცემთა ბაზა. 1 ცხრილში მოცემულია ამ ჰიდროკვეთებზე მდინარეთა აუზების ჰიდროგრაფიული და ჰიფსომეტრიული მახასიათებლები, რომელთაც გარკვეული მნიშვნელობა აქვთ წყალმოვარდნების მაქსიმალური ხარჯების ფორმირებაში.

**ცხრილი 1. დასავლეთ საქართველოს მთავარი მდინარეებისა და მათი აუზების ჰიდროგრაფიული და ჰიფსომეტრიული მახასიათებლები**

№	მდინარე პუნქტი	აუზის ფართი	მდინარის სიგრძე	აუზის სიმაღლე	აუზის ტყიანობა	სათავის სიმაღლე	პუნქტის სიმაღლე	მდინარის კარდნა	აუზის დახრილობა	მდინარის დახრილობა
		F კმ <sup>2</sup>	L კმ	H მ	W %	H <sub>S</sub> მ	H <sub>P</sub> მ	H <sub>Δ</sub> მ	S <sub>B</sub> ‰	S <sub>R</sub> ‰
1	ბზიფი -ჯირხვა	1410	88	1690	64	2639	70	2569	419	25,6
2	კოდორი – ლათა	1420	34	1920	48	2600	298	2102	471	36,9
3	ენგური – ხაიში	2780	97	2320	46	2521	549	1982	424	17,6
4	ენგური – დიზი	1620	78	2460	40	2521	858	1723	419	17,6
5	ნენსკრა – ლახანი	468	39	2300	41	2688	642	2046	418	48,8
6	მესტიაჭალა – მესტია	144	11	2790	25	1622	1392	1230	355	85,9
7	რიონი – ონი	1060	58	2260	40	2347	785	1562	402	33,0
8	რიონი – ალპანა	2830	117	1810	43	2347	367	1880	322	20,3
9	რიონი – ნამოხვანი	3450	151	1720	41	2347	223	2124	320	15,1
10	რიონი – საქოჩაკიძე	13300	284	950	34	2347	65	2282	300	51,5
11	ყვირილა – საჩხერე	533	45	1320	75	1899	420	1479	245	35,2
12	ყვირილა – ზესტაფონი	2490	98	960	52	1899	152	1737	224	18,3
13	ძირულა – ნევა	1190	76	880	34	1408	182	226	235	18,2
14	ხანისწყალი – ბაღდათი	655	43	1230	91	2411	190	2521	319	58,7
15	ჩხერიმელა – ხარაგაული	398	28	1100	77	789	280	509	277	29,1
16	ცხენისწყალი – ლუჯი	506	38	2240	54	2707	1130	1577	398	43,7
17	ცხენისწყალი – რცხმელური	1470	78	2040	53	2707	500	2207	407	27,2
18	ცხენისწყალი – ხიდი	1950	129	1800	31	2707	190	2517	380	19,7
19	ტეხური – ნაქალაქევი	558	66	1160	53	2400	82	2318	296	38,4
20	ხობი – ლეგახარე	310	58	1640	85	2325	230	2095	460	53,4
21	სუფსა – ჩოხატაური	316	56	1250	68	2710	130	2580	308	44,9
22	სუფსა – ხიდმაღალა	1100	102	970	52	2710	5	2705	214	25,5
23	ნატანები – ნატანები	469	56	880	48	2475	4	2471	240	45,8
24	კინტრიში – კონი	191	33	1120	44	2450	87	2373	500	68,5
25	ჩაქვისწყალი – ხალა	120	14	880	95	1280	41	1139	475	80,8
26	ბჟუჟა – გომი	112	19	1580	78	2503	300	2203	421	99,8
27	აჭარისწყალი – ქედა	1360	70	1470	67	2379	192	2187	346	33,2
28	აჭარისწყალი – ხულო	251	30	1590	57	2379	650	1729	308	67,5
29	ჭოროხი – ერგე	22100	428			2700	30	2670		



ჰიდროკვეთებზე დაკვირვებათა წლების რაოდენობა საშუალოდ 50-დან 90 წლამდე იცვლება. დაკვირვებათა რიგებში გამოტოვებული შემთხვევების აღდგენისა და მაქსიმალური ხარჯების ერთიანი რიგების შედგენის მიზნით, გამოყენებულ იქნა ანალოგ მდინარეთა წყლის ხარჯების მონაცემთა კორელაციური ანალიზი და გრაფიკული ინტერპოლაციის მეთოდი. იმის გამო, რომ ცალკეულ მდინარეთა აუზებში წყალმოვარდნების ფორმირება ხასიათდება გარკვეული თავისებურებებით და ატარებენ ინდივიდუალურ ხასიათს, ამიტომ რთული იყო ანალოგ მდინარეთა მოძებნა გამოტოვებული შემთხვევების აღსადგენად.

**ცხრილი 2. დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა წყლის საშუალო წლიური ( $Q_0$ , მ<sup>3</sup>/წმ) და მაქსიმალური ხარჯების ( $Q_{max}$ , მ<sup>3</sup>/წმ) პარამეტრები დაკვირვებათა (n წლების) სტატისტიკური ანალიზის მიხედვით**

№	მდინარე პუნქტი	წლების რაოდენობა	საშუალო წლიური	უდიდესი	უმცირესი	ამპლიტუდა	საშუალო მაქსიმუმი	ვარიაცია	ასიმეტრია
		n	$Q_0$	$Q_{max}$	$Q_{min}$	$A_Q$	$Q_m$	$C_V$	$C_S$
1	ბზიფი -ჯირხვა	61	98.2	1090	286	804	510	0.31	1.41
2	კოდორი – ლათა	61	92.5	1240	256	984	498	0.41	1.35
3	ენგური – ხაიში	92	118	2100	250	1850	643	0.49	2.04
4	ენგური – დიზი	92	68.5	1200	105	1095	341	0.56	2.30
5	ნენსკრა – ლახანი	92	30.4	600	25	575	146	0.69	2.35
6	მესტიაჭალა – მესტია	92	13.0	351	20	331	90	0.67	2.28
7	რიონი – ონი	92	44.8	650	50	600	188	0.48	1.94
8	რიონი – ალპანა	92	103	1470	242	1228	528	0.36	1.98
9	რიონი – ნამოხვანი	92	176	1870	370	1500	727	0.31	1.93
10	რიონი – საქოჩაკიძე	92	420	11200	950	10250	2367	0.65	2.79
11	ყვირილა – საჩხერე	92	15.6	800	325	760	159	0.66	3.08
12	ყვირილა – ზესტაფონი	92	60.7	2300	185	2115	544	0.53	2.84
13	ძირულა – წევა	92	26.0	1230	80	1150	288	0.54	2.62
14	ხანისწყალი – ბაღდათი	92	15.9	680	28	652	123	0.71	3.31
15	ჩხერიმელა – ხარაგაული	92	12.1	484	34	450	112	0.56	2.56
16	ცხენისწყალი – ლუჯი	84	24.4	640	48	592	140	0.78	2.48
17	ცხენისწყ – რცხმელური	84	66.3	1115	75	1040	312	0.55	1.55
18	ცხენისწყალი – ხიდი	84	47.2	1200	138	1062	368	0.50	1.75
19	ტეხური – ნაქალაქევი	84	34.8	1320	50	1270	326	0.60	2.21
20	ხობი – ლეგასარე	84	21.6	1400	25	1375	261	0.89	2.35
21	სუფსა – ჩოხატაური	62	13.8	300	42	258	116	0.53	1.47
22	სუფსა – ხიდმაღალა	62	50.8	1500	234	1266	501	0.44	2.30
23	ნატანები – ნატანები	62	24.8	1330	89	1241	343	0.59	2.52
24	კინტრიში – კოხი	62	12.9	915	35	880	162	0.90	2.95
25	ჩაქვისწყალი – ხალა	62	9.65	1000	10	990	147	1.68	3.51
26	ბჟუჟა – გომი	62	7.08	910	3	907	121	1.31	2.88
27	აჭარისწყალი – ქედა	63	46.1	850	117	733	319	0.51	1.56
28	აჭარისწყალი – ხულო	63	8.28	189	28	161	70	0.47	1.83
29	ჭოროხი – ერგე	63	278	3840	628	3212	1497	0.45	1.96

მრავალმხრივი კვლევის შედეგად მიღებულია ყოველწლიური უდიდესი მაქსიმალური ხარჯების მრავალწლიანი (62 ÷ 92) რიგები. მათი სტატისტიკური ანალიზის შედეგად, სათანადო კომპიუტერული პროგრამით [5], 1991-2022 წლების მონაცემების დამატებით მდინარეთა 29 ჰიდროკვეთზე დაზუსტდა გავლილი წყალმოვარდნების უდიდესი მაქსიმალური ხარჯების მრავალწლიური მახასიათებლების პარამეტრები, რომლებიც მოცემულია ცხრილ 2-ში, სადაც მდინარეთა საშუალო წლიური და უდიდესი წყლის ხარჯების გარდა, მიღებულია მაქსიმალური ხარჯების საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობები (ნორმები), მათი რყევის ამპლიტუდები და ცვალებადობის (ვარიაციისა – Cv და ასიმეტრიის – Cs) კოეფიციენტები, რომელნიც გამოირჩევიან მაღალი მნიშვნელობებით (Cv > 0,5, Cs > 2).

ამრიგად, 2023 წლამდე არსებული 62 – 92 წლიანი დაკვირვებათა რიგების მონაცემებით, მიღებულია დაზუსტებული პარამეტრები წყალმოვარდნების უდიდესი მაქსიმალური ხარჯების მახასიათებლებისა. ისინი საჭიროა გამოყენებულ იქნენ წყალსამეურნეო გაანგარიშებების სანარმოებლად მდინარეებზე მდებარე ჰიდროტექნიკური ობიექტებისა და სანაპირო ზონებში განლაგებული ობიექტების მომსახურებისათვის, აგრეთვე სამეცნიერო და საპროექტო ორგანიზაციებში ნაგებობათა ტექნიკურ – ეკონომიკური მაჩვენებლების დასაბუთებისა და დაგეგმარებისათვის.

წყალმოვარდნების 32 წლიანი მონაცემების დამატებით განახლებული პარამეტრების პრაქტიკული გამოყენება შესაძლებელს გახდის მდინარეებზე და მათ სიახლოვეს მდებარე ობიექტების (ჰიდროტექნიკურ ნაგებობების, ხიდების, გზების, საცხოვრებელი სახლების სასოფლო სავარგულების და სხვ.), მაღალი წყალმოვარდნების დროს, უფრო საიმედო დაცვას დაზიანებისა და დანგრევისაგან.

## ლიტერატურა

- [1] ბასილაშვილი ც., სალუქვაძე მ., ცომაია ვ., ხერხეულიძე გ. კატასტროფული წყალდიდობები, ღვარცოფები და თოვლის ზვავები საქართველოში და მათი უსაფრთხოება. // თბილისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2012, 244 გვ.
- [2] გაჩეჩილაძე გ., ცომაია ვ., გორგიჯანიძე ს., ბეგალიშვილი ნ. კატასტროფული წყალმოვარდნების წყლის მაქსიმალური ხარჯების გაანგარიშებისა და პროგნოზირების შესაძლებლობა ტენზომეტრების პარამეტრების გამოყენების საფუძველზე დაკვირვების პუნქტების დახურვის პირობებში. // ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, თბილისი, ტომი 115, 2008, გვ. 417 – 425.
- [3] ბასილაშვილი ც. დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა მაქსიმალური ხარჯები, მათი დინამიკა და დარეგულირება. // სტუ – ს ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, თბილისი, ტომი 119, 2013, გვ. 158 – 162.
- [4] ბასილაშვილი ც. მრავალფაქტორიანი სტატისტიკური მეთოდოლოგია წყალდიდობა – წყალმოვარდნების პროგნოზირებისათვის.// თბ., ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2013, 180გვ.
- [5] Баси́лашвили Ц. З. Статистический анализ переменных и выбор предикторов для прогностических зависимостей. // Аннотированный указатель алгоритмов и программ. Обнинск, Мировой Центр Данных, 1977, с. 43.

## UPDATED MAXIMUM FLOOD DISCHARGES FOR HYDROLOGICAL CALCULATIONS OF THE RIVERS IN WESTERN GEORGIA

Basilashvili Ts.

**Abstract.** The average annual and maximum water discharges norms, their extreme values and specifics of their variation, obtained by adding the annual observation data for the years 1991-2022, are provided for the major 29 hydro-crossings of the rivers of Western Georgia. They have to be considered by scientific, economic and design organizations, which will allow them to produce water management calculations, determine technical and economic indicators of the constructions and facilities and most importantly, ensure safety of the population and the environment.

**Key words:** loss, victim, safety.

## ASSESSMENT OF MODERN AGROCLIMATIC CONDITIONS OF THE NORTH CAUCASUS IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

**Kerimov I.A., Bratkov V.V., Bekmurzaeva L.R.**

*Millionshchikov Grozny State Oil Technical University*

**Abstract.** *The North Caucasus region exhibits a high population density and an established industrial and agricultural production. Consequently, investigating the effect of climate change in this area promptly represents a practically significant task. The research aims to evaluate the contemporary change in climate on various landscape types in the North Caucasus region and their influence on agroclimatic conditions.*

*This work establishes a database spanning from 1961 to 2020, focusing on temperature and precipitation data from 28 meteorological stations. Employing statistical and mathematical methods, we processed the data using electronic spreadsheets such as Excel. Our analysis incorporated both traditional methods from climatology and agroclimatology, as well as modern GIS technologies.*

*The analysis unveiled that, on average, the air temperature in the North Caucasus region increased by 0.9°C from 1961 to 2020. Temperature variations varied across different landscape types, with the highest annual air temperature increase occurring in foothills (1.2°C) and the lowest in mountainous landscapes (0.5°C). Additionally, there were increases in the sums of active temperatures above 5, 10, and 15°C. Precipitation, on average, increased by 56 mm, with the most significant rise observed in steppe landscapes (72 mm) and the least in semi-desert and desert landscapes (36 mm). Certain regions show unchanged precipitation levels. The increase in precipitation primarily occurred during the vegetation period, while precipitation during the cold period, conversely, decreased. Exceptions to this pattern were observed in mountainous landscapes, which exhibited an opposite trend. The hydrothermal coefficient of G. Selyaninov, characterizing moisture during the vegetation period, remained within the natural fluctuation range.*

*Our research results affirm that the change in climate in the North Caucasus region has contributed to the improvement of the territory's thermal and humidity conditions. Despite alterations in humidity, the values of moisture indicators persist within the characteristic range for each landscape type. Consequently, conditions conducive to landscape transition and the cultivation of more hygrophillous crops are not discernible.*

**Keywords:** *Modern climatic changes, agro-climatic conditions, temperature, precipitation, hydrothermal coefficient.*

### Introduction

According to the latest published data from the Intergovernmental Panel on Climate Change, global surface air temperatures in 2011-2020 increased by 1.1°C compared to the last century [4].

While global climate change and its impact on the natural environment and human activity are being studied quite actively, little attention is paid to regional studies. The Russian part of the Caucasus is usually called the North Caucasus. This is a fairly densely populated region of the Russian Federation, characterized by industrial and agricultural specialization. In addition, the North Caucasus has a wide landscape and biological diversity. In this regard, the study of climate changes in a given territory and timely adaptation to them is an urgent task of great practical interest. The purpose of the study is to assess current climate changes in various types of landscapes found in the North Caucasus and their impact on agroclimatic conditions.

## Materials and Methods

The study was carried out within the framework of the state task “Assessment of the variability of agroclimatic conditions of the North Caucasus in connection with global climate change”. The estimates are based on data from the Roshydromet observation network at 28 weather stations representative of a certain type of landscape. Observation period from 1961 to 2020. For comparison, data from the USSR Climate Guide [3] (observation period from 1881 to 1960) are used as the long-term average value (norm). Data processing and interpretation were carried out using Excel spreadsheets and GIS technologies.

To assess the current agroclimatic conditions of the study area, indicators traditionally used in agroclimatology were considered [1,2].

## Results

Analysis of the materials showed that on average in the period from 1961 to 2020 air temperature in the North Caucasus compared to the norm (1881-1960) increased by 0,9°C. However, the increase in air temperature is uneven throughout the territory. It increased maximally in foothill landscapes by 1,2°C, minimally in mountain landscapes – by 0,5°C (table 1).

**Table 1. Air temperature deviation for the period from 1961 to 2020 from the long-term average value.**

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
Steppe	1,4	1,6	1,6	1,5	0,5	0,8	0,4	0,4	0,7	0,1	0,9	1,3	1,0
Foothill	1,6	1,6	1,2	1,1	0,4	0,7	0,6	0,4	0,7	0,2	1,1	1,4	1,2
Mountain	1,0	0,8	0,7	0,7	0,1	0,4	0,4	0,3	0,4	0,1	0,5	0,8	0,5
Semidesert and	1,3	1,3	1,6	1,5	0,5	0,6	0,3	0,3	0,8	0,2	0,7	1,0	0,9

The sum of active temperatures exceeding 5°C increased by 4-7%, the sum of active temperatures exceeding 10°C increased by 5-9% (table 2). Average temperatures in January and July also increased, with winter temperatures increasing significantly more than summer temperatures (table 2). The transition of the average daily temperature through 0, 5, 10°C occurs earlier in spring, and later in autumn. Accordingly, the duration of the period after 0°C increased by an average of 15 days; after 5°C – for 8 days; after 10°C – for 9 days.

**Table 2. Sum of active temperatures. Average temperatures in January and July.**

	Sum of active temperatures exceeding 5°C	Sum of active temperatures exceeding 10°C	Average January temperature, °C	Average temperature in July, °C
Steppe	+ 262	+304	+1,4	+0,3
Foothill	+240	+267	+1,4	+0,1
Mountain	+217	+181	+1,5	+0,6
Semidesert and	+93	+92	+1,1	+0,5

Precipitation between 1961 and 2020 compared to the norm, they increased on average by 56 mm, the largest increase in cages was observed in foothill and mountain landscapes (by 72 mm) (table 3).

**Table 3. Precipitation deviation for the period from 1961 to 2020 from the long-term average value**

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
Steppe	9	6	7	4	6	5	-3	1	5	6	6	10	72
Foothill	7	5	11	14	18	16	10	14	5	9	8	8	72
Mountain	13	4	9	8	-7	-1	-5	1	-3	6	11	10	45
Semidesert and deser	4	6	3	-1	6	1	0	0	-1	3	-1	4	36

Hydrothermal coefficient G.T. Selyaninova (GTK), which directly depends on the amount of precipitation during the growing season, is widely used to identify zones of different moisture supply in order to determine the feasibility of growing certain crops. According to the study, in the period from 1961 to 2020 the HTC value in semi-desert landscapes varies from 0,5 to 0,7, which corresponds to a dry steppe, in steppe landscapes – from 0,7 to 1,1, which corresponds to steppe-forest-steppe, in foothill landscapes from 1 to 2,2, which corresponds forest-steppe is an excessively humid zone, in mountains – from 0,9 to 3,6, which corresponds to the arid zone (Akhty) – an excessively humid zone. All deviations of the HTC from the norm are within the limits of natural fluctuation.

## Conclusions

Thus, the ongoing climate changes in the North Caucasus in the period from 1961 to 2020 proceed according to the scenario of an increase in air temperature by an average of 0.9 ° C and an increase in precipitation by an average of 56 mm. Agroclimatic indicators characterizing the heat and moisture supply of the territory have improved. However, the HTC indicators, which characterize the ratio of incoming heat and moisture, are within the limits of natural fluctuation; accordingly, the prerequisites for changing the boundaries of landscapes have not developed, as well as the conditions for growing new types of agricultural crops.

**Acknowledgments:** The work was carried out within the framework of the state assignment of Millionshchikov Grozny State Oil Technical University FZNU-2024-0001 «Assessment of the impact of modern climate change on natural and natural-anthropogenic complexes (using the example of the Chechen Republic)».

## References

- [1] Kelchevskaya L.S. Metody obrabotki nablyudenij v agroklimatologii [Methods for processing observations in agroclimatology]. // Leningrad, Hydrometeorological Publishing House, 1971, 214 p., (in Russian).
- [2] Metody ocenki posledstvij izmeneniya klimata dlya fizicheskikh i biologicheskikh sistem [Methods for assessing the consequences of climate change for physical and biological systems] // Ed. CM. Semyonov, Moscow, Rosgidromet, 2012, 512 p., (in Russian).
- [3] Spravochnik po klimatu SSSR [Reference book on the climate of the USSR]. vol. 1, Part 2. // Ed. V.F. Protsenko– Leningrad, Hydrometeorological publishing house, 1966, 492 p., (in Russian).
- [4] [https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_SYR\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf).

## გვალვების გავლენა საქართველოს აღმოსავლეთ რეგიონების აბრარულ საქმეებზე

მელაძე მ., მელაძე გ., კაპანაძე ნ., ფიფია მ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

**ანოტაცია.** სოფლის მეურნეობისათვის გვალვა არახელსაყრელი მეტეოროლოგიური მოვლენაა, რომელიც არაერთგვაროვან გავლენას ახდენს მცენარეთა ზრდა-განვითარებასა და მათ პროდუქტიულობაზე. ნაშრომში განხილულია აღმოსავლეთ საქართველოს რეგიონებისათვის, სავეგეტაციო პერიოდში გვალვების მაჩვენებლები (გვალვის ტიპები, საშუალო გვალვიან დღეთა რიცხვი). რეკომენდაციის სახით მოცემულია გვალვის საფრთხეების რისკის შესამცირებლად ჩასატარებელი ღონისძიებები.

**საკვანძო სიტყვები:** გვალვა, აგროკულტურა, სავეგეტაციო პერიოდი

აგროკულტურებისათვის გვალვა არახელსაყრელი მეტეოროლოგიური მოვლენაა. იგი თავისი ხასიათით ანომალურია და კლიმატური ფაქტორებით ხანგრძლივი პერიოდით (30 და მეტი დღით) კომპლექსურად მოქმედებს აგროეკოსისტემაზე და ეკოსისტემებზეც. გვალვა განპირობებულია დღეღამური ჰაერის საშუალო ტემპერატურით ( $25^{\circ}\text{C}$  და მეტი), ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურით ( $70^{\circ}\text{C}$ -მდე), ჰაერის შეფარდებითი ტენიანობით 40%-მდე, მშრალი ქარით სიჩქარით 5 მ/წმ და მეტი.

გვალვა არაერთგვაროვან გავლენას ახდენს მცენარეთა ზრდა-განვითარებასა და მათ პროდუქტიულობაზე. ზაფხულის აქტიური ვეგეტაციის პერიოდში (VI-VIII) ცხელი ამინდი, უნაღვე ქობა ან იშვიათად უმნიშვნელო ნალექები (5მმ ნაკლები), ქმნის არასაკმარისი ტენიანობის პირობებს, განსაკუთრებით ერთნაირი კულტურების განვითარებისათვის [1]. ასეთ მცენარეებს ნიადაგში არა აქვთ ღრმად განვითარებისათვის ფესვთა სისტემა და განიცდიან ნიადაგის ტენის ნაკლებობას. მცენარეთა აქტიური ვეგეტაციის პერიოდში (VI-VIII) აღნიშნული ფაქტორების გახანგრძლივების შემთხვევაში, შეიძლება შეფერხდეს მარცვლეული და ბოსტნეული კულტურების განვითარება, აგრეთვე, მრავალწლიანი კულტურების ნაყოფების ფორმირება. რადგან ასეთი პირობები ნიადაგში ქმნის ტენის განსაკუთრებულ ნაკლებობას. ამის გამო მცენარეების ფესვთა სისტემა საჭირო რაოდენობით ვერ აწვდის წყალს მიწისზედა ნაწილებს. აქედან გამომდინარე, აუცილებელი ხდება ნიადაგის ტენით უზრუნველყოფა.

ატმოსფერული ჰაერის სიმშრალედ (გვალვად) არის მიჩნეული ხორშაკი (ქარშოშინი). იგი კომპლექსურ მეტეოროლოგიურ მოვლენას წარმოადგენს. იმ შემთხვევაში, როცა იგი გვალვას ახლავს, მაშინ უფრო ძლიერდება ჩვეულებრივი გვალვა და გვევლინება ქარშოშინის სახით. ამ დროს უფრო მეტია დღეღამური ჰაერის საშუალო ტემპერატურა ( $26^{\circ}\text{C}$  და მეტი), ნიადაგის ზრდაპირის ტემპერატურა ( $70^{\circ}\text{C}$  და მეტი), ჰაერის შეფარდებითი ტენიანობა 30%-მდეა, მშრალი ქარების სიჩქარე შეადგენს 6-8 მ/წმ და ყოველივე ამას ერთვის უნაღვე ქობა ან იშვიათად უმნიშვნელო ნალექი (5მმ ნაკლები). აღნიშნული ფაქტორების თანხვედრას (15-20 და მეტი დღით) შეუძლია ნიადაგში გამოიწვიოს პროდუქტიული ტენის მარაგის ინტენსიური აორთქლება და ნიადაგის 0-50 და 0-100 სმ სიღრმის ფენაში პროდუქტიული ტენის მარაგის შემცირება 20-30 და 40-50 მმ-მდე (შესაბამისად). ეს ფაქტორები იწვევენ მცენარეების ტრანსპირაციის გადიდებას, ნიადაგიდან ტენის ინტენსიურ აორთქლებას, რაც უარყოფითად აისახება მცენარეთა ზრდა-განვითარებასა და მოსავლის ფორმირებაზე. ამიტომ, ასეთ შემთხვევებში დროულად უნდა ჩატარ-



დეს ნიადაგის მორწყვა, კულტივაცია-გაფხვიერება [2]. ცხრილში 1 მოცემულია საქართველოს აღმოსავლეთ რეგიონების გვალვების მაჩვენებლები სავეგეტაციო პერიოდში.

**ცხრილი 1. სავეგეტაციო პერიოდში გვალვების მაჩვენებლები.**

რეგიონი	მეტეო-სადგური	გვალვის ტიპები	საშუალო გვალვიან დღეთა რიცხვი			
			საშუალო	ყველაზე მეტი	ყველაზე ნაკლები	გვალვების ალბათობა, %
კახეთი	თელავი	სუსტი	39	62	12	100
		საშ.ინტენსიური	11	33	0	95
		ინტენსიური	2	10	0	60
		ძლ.ინტენსიური	0.1	1	0	5
	შირაქი	სუსტი	46	73	16	100
		საშ.ინტენსიური	12	45	2	100
ინტენსიური		2	8	0	55	
მცხეთა-მთიანეთი	თიანეთი	სუსტი	20	40	3	100
		საშ.ინტენსიური	2	15	1	55
		ინტენსიური	0	0	0	0
	მუხრანი (მცხეთა)	სუსტი	39	65	16	100
		საშ.ინტენსიური	15	32	2	100
		ინტენსიური	1	5	0	50
	დუშეთი	სუსტი	22	47	4	100
		საშ.ინტენსიური	4	22	0	80
		ინტენსიური	0	1	0	10
სამცხე-ჯავახეთი	ბორჯომი	სუსტი	30	47	6	100
		საშ.ინტენსიური	6	24	0	90
		ინტენსიური	1	7	0	40
	ახალციხე	სუსტი	49	78	10	100
		საშ.ინტენსიური	4	15	0	75
		ინტენსიური	0.2	3	0	10
	ახალქალაქი	სუსტი	15	31	1	100
		საშ.ინტენსიური	3	13	0	85
		ინტენსიური	0.2	1	0	10
ქვემო და შიდა ქართლი	გარდაბანი	სუსტი	65	101	36	100
		საშ.ინტენსიური	27	50	2	100
		ინტენსიური	4	17	1	80
		ძლ.ინტენსიური	0.1	1	0	10
	ნალკა	სუსტი	6	25	0	90
		საშ.ინტენსიური	0	1	0	5
		ინტენსიური	0	1	0	5
	გორი	სუსტი	40	62	18	100
		საშ.ინტენსიური	14	36	2	100
		ინტენსიური	2	6	0	65
		ძლ.ინტენსიური	0.2	2	0	10

კახეთის რეგიონში ცხრილი 1-ის მიხედვით სუსტი და საშუალო ინტენსივობით გვალვები რეგიონის ტერიტორიაზე ყოველწლიურადაა მოსალოდნელი, მაგრამ არის შემთხვევა, როცა ინტენსიური გვალვა აღინიშნება 2 დღე. ცხადია, აღნიშნული გვალვების შემთხვევები არ არის კატასტრო-

ფული, მაგრამ იგი გასათვალისწინებელია კულტურების ნორმალური ზრდა-განვითარებისა და მოსავლის შენარჩუნებისათვის. კერძოდ, ასეთ შემთხვევაში უნდა განხორციელდეს ნიადაგის მორწყვა და კულტივაცია.

მცხეთა-მთიანეთის რეგიონის ტერიტორია არ არის დაზღვეული გვალვებისაგან და სხვადასხვა ინტენსიობით გვევლინება (ცხრილი 1). ცხრილის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ რაიონების მიხედვით სუსტი გვალვები ყოველწლიურად არის მოსალოდნელი 100%, ხოლო საშუალო ინტენსიობით 55% (თიანეთში), მცხეთაში – 100%, დუშეთში – 80%. ინტენსიური გვალვა სავეგეტაციო პერიოდში – 5 დღე აღინიშნება მცხეთაში, 1 დღე – დუშეთში. მოცემულ რეგიონში ინტენსიური გვალვები უმეტესად აღინიშნება ვეგეტაციის აქტიურ პერიოდში (VI-VIII). როგორც ვხედავთ, რეგიონში გვალვები სხვადასხვა ინტენსიობით საკმაოდ ხშირია. ამიტომ, სასოფლო-სამეურნეო კულტურები განსაკუთრებით მარცვლეული, ბოსტნეული, ბალჩეული და სხვა კულტურები საჭიროებენ ნიადაგის ტენით უზრუნველყოფას (გაფხვიერება, მორწყვა 2-3-ჯერ). მრავალწლიანი კულტურების მოსავლის შენარჩუნებისათვის მიზანშეწონილია 1-2-ჯერ ნიადაგის მორწყვა [3, 4, 5].

სამცხე-ჯავახეთის რეგიონში სავეგეტაციო პერიოდში გვალვები მოსალოდნელია სხვადასხვა ინტენსიობით (ცხრილი 1). მთიან ზონაში (ბორჯომი, ახალციხეში) სუსტი გვალვები ყოველწლიურად დაიკვირვება, თუმცა არც, ისე ხშირად საშუალოა. მაღალმთიან ზონაში (ახალქალაქი) სუსტი და საშუალო გვალვები აშკარად ნაკლებია (ახალქალაქი). რაც შეეხება ინტენსიურ გვალვას, იგი დაფიქსირებულია მხოლოდ ერთხელ ბორჯომში, უმნიშვნელო სიდიდით (0.2 დღე) ახალციხეში და ახალქალაქში. ცალკეულ წლებში, ინტენსიური გვალვების ალბათობის საშიშროება ძალზე მცირეა. მიუხედავად ამისა, სოფლის მეურნეობის სპეციალისტებმა, ფერმერებმა და კერძო სექტორის მინათმოქმედმა პირებმა სუსტი, საშუალო ინტენსიური და ინტენსიური გვალვებისაგან დაზღვევის მიზნით, საჭიროა ჩაატარონ პრევენციული, მელიორაციული ღონისძიებები, რათა მიიღონ გარანტირებული მოსავალი.

ქართლის რეგიონში გვალვები, როგორც სოფლის მეურნეობისათვის არახელსაყრელი მოვლენა, სავეგეტაციო პერიოდში ყოველწლიურადაა მოსალოდნელი, სხვადასხვა ინტენსიობით. რაც იწვევს სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლის არსებით შემცირებას. მრავალწლიურ მეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა მონაცემების საფუძველზე, მოყვანილია გვალვიანობის დღეთა რიცხვი, თბილ პერიოდში (ცხრილი 1).

ცხრილიდან ნათლად ჩანს, რომ ქვემო ქართლში გარდაბნის რაიონის მიხედვით 1000 მ სიმაღლემდე სუსტი და საშუალო ინტენსიური გვალვები ყოველწლიურად დაიკვირვება, თუმცა არის შემთხვევა, როცა ინტენსიური გვალვაც აღინიშნება, საშუალოდ 4 დღე. აღნიშნული სიმაღლის ზევით 1500 მ-მდე წალკის რაიონის მიხედვით, სუსტი გვალვა აღინიშნება 6 დღე, მაგრამ მას არ შეუძლია არსებითი ზიანი მიაყენოს სოფლის მეურნეობას. მაშასადამე, სუსტი და საშუალო გვალვების შემთხვევაში, 1000 მ სიმაღლემდე, გარანტირებული მოსავლის შენარჩუნებისათვის აუცილებელია სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ქვეშ ნიადაგის მორწყვა 3-4-ჯერ, კულტივაცია-გაფხვიერება. რაც შეეხება მრავალწლიან კულტურებს, მათი მორწყვა საჭიროა 1-2-ჯერ [6].

შიდა ქართლის რეგიონში მეტეოროლოგიური დაკვირვებათა მასალების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ გვალვა, როგორც არახელსაყრელი მოვლენა, თითქმის ყოველწლიურად მოსალოდნელია სხვადასხვა ინტენსიობით. იგი განპირობებულია ჰაერის სიმშრალით, საკმაოდ მაღალი ჰაერის ტემპერატურებით (25°C და მეტი), ჰაერის ტენიანობის დეფიციტით (30მმ და მეტი) და ქარის სიჩქარით 6-8 მ/წმ. ცხრილიდან 1 ჩანს, რომ გორის რაიონის მიხედვით სუსტი და საშუალო ინტენსიობის გვალვები ყოველწლიურად დაიკვირვება 100%. სუსტი გვალვები სავეგეტაციო პერიოდში დაიკვირვება საშუალოდ 40-ჯერ, საშუალო გვალვები – 14-ჯერ, ინტენსიური გვალვა შეადგენს 65%, ძლიერ ინტენსიური – 10%. უნდა აღინიშნოს, რომ რეგიონში ინტენსიური გვალვები ძირითადად მოსალოდნელია ვეგეტაციის ყველაზე ცხელ პერიოდში (VII-VIII). მაშასადამე, რეგიონში გვალვები არც თუ იშვიათობაა. გამომდინარე აქედან სასოფლო-სამეურნეო კულტურები, განსაკუთრებით ერთწლიანები, აუცილებელია უზრუნველყოფილი იყოს ნიადაგის ტენით (ნიადაგის მორწყვა 2-3-ჯერ, კულტივაცია-გაფხვიერება), ხოლო მრავალწლიანი კულტურების მორწყვა შეიძლება 1-2-ჯერ.

ზემოაღნიშნული გვალვის საფრთხეების რისკის შესამცირებლად რეკომენდებულია შემდეგი ღონისძიებების გატარება:

1. გვალვიანი რაიონის დეტალური გამოკვლევების ჩატარება და აღნიშნული ექსტრემალური მოვლენის მონიტორინგი მის გახშირებასთან დაკავშირებით; ყოველი სასოფლო-სამეურნეო რეგიონის, ზონისა და ქვეზონის აგროკლიმატური რესურსების დეტალური შესწავლა; გვალვის გრძელვადიანი (სეზონური) პროგნოზირების მეთოდების სრულყოფა და დამუშავება.
2. საქართველოს პირობებისათვის გვალვაგამძლე, მაღალმოსავლიანი, დაავადებებისა და მავნებლების წინააღმდეგ იმუნური ჯიშების შექმნა. აღნიშნული თვისებების გამოსავლენად შესწავლილი უნდა იქნას ადგილობრივი ჯიშების გენეტიკური პოტენციალი, რაც შესაძლებელს გახდის დადგინდეს კლიმატურ ცვლილებებთან შეგუების უნარი.
3. თესლბრუნვის სრული დანერგვა, რაც მოხსნის მნიშვნელოვან პრობლემებს: ა) ნიადაგის წყალმართავი თვისებების გაუმჯობესებით წყლის რესურსების ეკონომიკურ ხარჯვას, რაც უზრუნველყოფს გვალვის რამდენადმე შემცირებას; ბ) მცენარეთა დაავადებების, მავნებლებისა და სარეველების გავრცელების მნიშვნელოვან შემცირებას, რაც მინიმუმამდე შეამცირებს ჰერბიციდებისა და პესტიციდების გამოყენებას.
4. არსებული სარწყავი სისტემის რეკონსტრუქცია, მისი გაფართოება, წყლის ნაკლები ხარჯვის მიზნით დანვიმებითი და წვეთოვანი მორწყვის მეთოდების ფართოდ დანერგვა.
5. ქვეყნის გვალვიან რაიონებში ქარსაფარი ზოლებისა და მინდორსაცავი ტყის მასივების აღდგენა-გაშენება.

## ლიტერატურა

- [1] Gathara S.T., Gringof L.G., Mersha, E., Sinha Ray K.C., Spasov P. Impacts of Desertification and Droughted Other Extreme Meteorological Events. // WMO, Geneva, Switzerland, 2006, 88 p.
- [2] Meladze G., Meladze M. Influence of Global Warming on Agroclimatic Indices of agriculture and intensity of droughts in Kakheti region, East Georgia. // Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, 2016, vol.10, №1, pp. 97-104
- [3] Meladze G., Meladze M. Climate Change: a trend of increasingly frequent droughts in Kakheti Region (East Georgia). // Jurnal of Annals of Agrarian Science, 2017, vol.15, №1, Copyright© Elsevier B.V. pp. 96-102
- [4] მელაძე გ., მელაძე მ. გლობალური დათბობა და აგროკულტურების განვითარების ძირითადი მაჩვენებლების და გვალვიანობის მატების ტენდენციები კახეთში. // საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემიის საერთაშორისო კონფერენციის მასალები, 2015, გვ. 232-236
- [5] მელაძე გ., მელაძე მ. გლობალურ დათბობასთან დაკავშირებით სხვადასხვა ტიპის გვალვების განმეორადობა და მათი აგრომეტეოროლოგიური პროგნოზირება (დედოფლისწყაროს მაგალითზე). // ჰმის სამეცნიერო შრომათა კრებული, 2016, №123, გვ. 10-14
- [6] მელაძე მ., მელაძე გ. საქართველოს აღმოსავლეთ ტერიტორიაზე აგროკლიმატური მაჩვენებლების ცვლილება და გვალვების გახშირება გლობალური დათბობის პირობებში. // თსუ-ის საერთაშორისო კონფერენციის მასალები, 2017, გვ. 246-253

## IMPACT OF DROUGHTS ON THE AGRICULTURAL SECTOR OF THE EASTERN GEORGIA REGIONS

Meladze M., Meladze G., Kapanadze N., Pipia M.

**Abstract.** For agriculture, drought is an unfavorable meteorological event, which has a various effect on the growth and development of plants and their productivity. The article discusses the indicators of droughts in the vegetative period for the regions of Eastern Georgia (types of droughts, average number of drought days). Measures to be taken to reduce the risk of drought threats are given as a recommendation.

**Key words:** drought, agriculture, vegetation period.

## საყოფაცხოვრებო მიწის ნარჩენების ბაზაზე სამშენებლო ნაბოცემენტი

**\*მარქარაშვილი ე., \*პაპიაშვილი კ., \*\*სნესარ ა., \*ხახუტაიშვილი ა.**

*\*ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
\* ნებოცემენტის კომპანია „ჰენკელი“*

**ანოტაცია.** გარემოს დაცვა საყოფაცხოვრებო ნარჩენებით დაბინძურებისაგან, რაც რეალურ საფრთხეს უქმნის გარემოს, საზოგადოების ყოველი წევრის საზრუნავი უნდა იყოს და გარკვეულ ფარგლებში ყველა ადამიანისათვის. ნაშრომი ითვალისწინებდა მიწის საყოფაცხოვრებო ნარჩენების უტილიზაციას, რაც მავნე ნარჩენის სასარგებლო პროდუქტად გადაქცევის შესაძლებლობას იძლევა. მიწის ნარჩენების და ნებოცემენტების ბაზაზე მიღებულია ახალი სამშენებლო მასალები. აღნიშნული მასალებისათვის გამოცდილი იქნა: ნყალშთანთქმა, სიმტკიცე გალუნვაზე და კუმშვაზე, ადჰეზიაზე, ზედაპირზე განთხევა და გაჭრის დრო, კორექციის დრო.

**საკვანძო სიტყვები:** ნებოცემენტი, ეკოლოგია, ქიმია

დღეს არ არსებობს მსოფლიოში ისეთი ქვეყანა, რომელსაც არა აქვს ნარჩენების მართვასთან დაკავშირებული პრობლემები. განსაკუთრებით დიდ ქვეყნებში, სადაც უამრავი ადამიანი ცხოვრობს, როგორც საყოფაცხოვრებო, ისევე სამრეწველო ნარჩენები უზამრავარ მასშტაბებს აღწევს. ნაგავსაყრელები იკავებენ მიწის საკმაოდ დიდ ფართობს, აბინძურებენ ნიადაგს, ატმოსფეროსა თუ წყლის რესურსებს, რაც, ხშირ შემთხვევაში, სხვადასხვა დაავადებებისა და ეპიდემიების გამომწვევი მიზეზია. შესაბამისად, მსოფლიოს სჭირდება ნარჩენების მართვასთან სწორი მიდგომა, რათა უამრავი პრობლემა აიცილოს თავიდან. მთავარი მიზანი საყოფაცხოვრებო, თუ საწარმოო ნარჩენების შემცირებაა. ნარჩენების გადამუშავება გულისხმობს მეორადი ნივთების ტექნოლოგიურ დამუშავებას და სხვა პროდუქტის მიღებას. მისი მთავარი უპირატესობა ნედლეულისა თუ რესურსების მოხმარების შემცირებაა, რადგან ხდება უკვე არსებული ნივთის დამუშავება. მთელ რიგ ევროპულ ქვეყნებში კანონმდებლობა ავალდებულებს ევროკავშირის მოქალაქეებს ნარჩენები დაახარისხონ 7 ტიპად: ალუმინი, მუყაო, ქალაღი, მინა, პლასტმასი, ფოლადი და ხის ნაკეთობა. ნარჩენების მართვის სისტემის დანერგვა მრავალ გამოწვევასთანაა დაკავშირებული, განსაკუთრებით კი განვითარებად ქვეყნებში, სადაც შესაბამის დონეზე არ არის განვითარებული ნარჩენების შეგროვების სისტემა, განსაკუთრებით კი სოფლად, რის გამოც მრავალი ადამიანი ნაგავს ხელოვნურად მოწყობილ ნაგავსაყრელებში, მდინარეებში ან ხეობებში ყრის. ნარჩენები გარემოს დაბინძურების მნიშვნელოვან წყაროს წარმოადგენენ. ნარჩენების „მოშორება“ ყველაზე ხშირად მათიჰნაგავსაყრელზე „გადაყრით“ ხდება. ამ ნაგავსაყრელებზე მათ ტკეპნიან და მიწის ფენით ფარავენ. იქმნება შთაბეჭდილება, რომ ნარჩენები „გაქრა“. მაგრამ ეს ასე არ არის – მიწის ქვეშ დამალული ნარჩენები უბრალოდ აღარ ჩანს, თორემჰგარემოს კვლავაც აზიანებს, და თან საკმაოდ სერიოზულად: ნარჩენების ნაწილი ლპება დაჰატმოსფეროში სხვადასხვა მავნე აირებს გამოჰყოფს. ნარჩენებში ჩაჰონავს წვიმის წყალი, რომელიც ნარჩენებშიჰარსებული მავნე ნივთიერებებით ბინძურდება. თუკი პოლიგონი დაბინძურებული ნაჰურიჰწყლების მოგროვების სისტემით საგანგებოდ აღჰურვილი არ არის,ჰდაბინძურებული წვიმის წყალი საბოლოო ჯამში გრუნტის წყლებს, ან მდინარეებსჰშეერევა და მათ სერიოზულ დაბინძურებას იწვევს. არსებობს უაღრესად მდგრადიჰნარჩენები, რომლებიც ნაგავსაყრელში ძალზედ ნელა, ათწლეულების მანძილზე იხრნება და მთელი ამ პერიოდის მანძილზე ჰაერს

და წყლებს აბინძურებს. ჩვენი მიზანი იყო შეგროვებული მინის ნარჩენების და ნებოცემენტის გამოყენებით ახალი სამშენებლო მასალების მიღება [1-10]. მინის ნარჩენების გამოყენებით ხდება საყოფაცხოვრებო ნარჩენების უტილიზაცია, რაც ბუნების ეკოლოგიურ გაჯანსაღებას იწვევს. აღნიშნული მასალები განსხვავებულია სხვა ანალოგებისაგან სიიფით, მიღების ტექნოლოგიის სიმარტივეი, მიკროორგანიზმებისადმი მდგრადობით და პასუხობს ყველა იმ თანამედროვე მოთხოვნას, რომელიც, წაეყენება სამშენებლო მასალებს. ნიმუშების მომზადება პირდაპირი პროცესია, იგი მოიცავს სხვადასხვა ინგრედიენტების შერევას ჩვეულებრივ კონტეინერში, ნიუანსი მდგომარეობს წონაში, იმისდა მიხედვით, თუ რამდენია წონა, ხდება მიქსერის არჩევა. ამის შემდგომ ხდება ინგრედიენტების შერევა და გამოცდა. ტიპურად რეცეპტები მოიცავს ცემენტის, ქვიშის და დამმატებლების ნარევს. ახალი რეცეპტები წარმოადგენს ძველი რეცეპტების ვარიაციებს, ხდება კომპონენტების რაოდენობის შეცვლა, პროცენტული წილების შეცვლა, ინგრედიენტების შეცვლა. სამწუხაროდ ინგრედიენტები და რეცეპტები საკომერციო საიდუმლოა. ინგრედიენტების აწონვა სხვადასხვა სასწორებზე. ჩვენს მიერ მომზადებული იყო ახალი ნიმუშები, ამისათვის დავამატეთ დაფქვილი მინა სხვადასხვა პროცენტული რაოდენობით. მინის დამატება მოხდა ქვიშის ხარჯზე. მინა დამატებული იქნა 1, 3 და 5 %. ნიმუში თვითსწორებადი იატაკის შემთხვევაში CN68 სტანდარტული გაშლა 1 ნუთის შემდეგ არის 24,5/24,5სმ. შედეგები მოცემულია 1 ცხრილში. უკეთესი შედეგებია მიღებული მინის დამატების შემთხვევაში. ყველაზე კარგი შედეგი მიღებულია 3% მინის დამატების შემთხვევაში. შედეგები მოცემულია ცხრილში. ცხრილ-2 -ში კი მოცემულია მინის ნარჩენების ბაზაზე მიღებული ნებოცემენტის გამოცდის შედეგები.

**ცხრილი 1 (Ceresit CN68 თვითნიველირებადი ნარევი)**

ნიმუში	ღუნვა, მპა	კუმშვა, მპა	გაშლა(წთ)	დღე	შენახვის პირობები
CN68	1,74	7,2	24,5/24,5 სმ	1	23°C/50%
	5,17	18,4		28	ტენიანობა 23°C/50%
CN68+ 5% მინა	1,7	7,5	23/23სმ	1	ტენიანობა 23°C/50%
	4,8	18,3		28	ტენიანობა 23°C/50%
CN68+ 3% მინა	1,7	8,1	23,5/23,5	1	ტენიანობა 23°C/50%
	5,25	19,2		28	ტენიანობა 23°C/50%
CN68+ 1% მინა	1,7	7,7	24/23,5	1	ტენიანობა 23°C/50%
	5,0	18,8		28	ტენიანობა 23°C/50%

**ცხრილი 2 (Ceresit CM11 plus ნებოცემენტი)**

ნიმუში	ადჰეზია (სტანდარტული პირობები), მპა	ტესტირების მეთოდი EN 12004- 2:2012/2018	დღე	შენახვის პირობები
CM11 plus	1,07		28	23°C/50% ტენიანობა 23°C/50% ტენიანობა

CM11 plus + 1% მინა	1,1	28	23 <sup>0</sup> C/50% ტენიანობა 23 <sup>0</sup> C/50% ტენიანობა
CM11 plus + 3% მინა	1,1	28	23 <sup>0</sup> C/50% ტენიანობა 23 <sup>0</sup> C/50% ტენიანობა
CM11 plus +5% მინა	1,2	28	23 <sup>0</sup> C/50% ტენიანობა 23 <sup>0</sup> C/50% ტენიანობა

## ლიტერატურა

- [1] Bye G. Portland Cement: Composition, Production and Properties. // Telford, London, UK, 1999.
- [2] Clarke J.L. Alternative Materials for the Reinforcement and Prestressing of Concrete. // Routledge Chapman & Hall, London, 1993.
- [3] Cunha A., Fakirov S. Structural Development During Processing. // Kluwer, NY, 2000.
- [4] Deer W., Howie R., Zussman J. Rock-Forming Minerals. // Longman, New York. A.B. Ellis, 1987 J. Chem. Ed., 64(10), 1982, 838.
- [5] Eitel W. Silicate Science. // Academic, New York, 1964.
- [6] F.W., Jr. Billmeyer. Textbook of Polymer Science, Chaps. 11, 12. // Wiley-Interscience, New York, 1984.
- [7] D.W. Van Krevelen. Properties of Polymers. // Third Completely Revised Edition, Elsevier, Amsterdam-Lausanne-NewYork-Oxford-Shannon-Singapore-Tokyo, 1997.
- [8] Stevens M.P. Polymer Chemistry An Introduction. (Third Edition). // University of Hartford, New York Oxford. Oxford University Press, 1999.
- [9] Brandrup J., Immergut E.H., Grulke E.A. Polymer Handbook, 4th ed. // Wiley-Interscience, New York, 1999.
- [10] Braun D., Cherdon H., Rehahn M., Ritter H., Voit B. Polymer Synthesis: Theory and Practice, Fundamentals, Methods, Experiments, (Fourth Eddition), Part 1. // Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2005.

## CONSTRUCTION ADHESIVE CEMENT BASED ON HOUSEHOLD GLASS WASTE

**Markarashvili E., Papiashvili K., Snesar A., Khakhutaishvili A.**

**Abstract.** Protection of the environment from household waste pollution, which poses a real threat to the environment, should be the concern of every member of the society and within certain limits for all people. The bachelor's thesis considered the utilization of glass household waste, which provides the opportunity to turn harmful waste into a useful product. New construction materials are obtained on the basis of glass waste and adhesive cements. The following materials were tested: water absorption, bending and bending strength, adhesion, surface liquefaction and cutting time, correction time.

**Key words:** adhesive cement, ecology, chemistry



## კომპოზიტი ეპოქიდური ფისისა და რეზინების ნარჩენების ბაზაზე

\*მარქარაშვილი ე., \*\*\*ბაზლაძე ზ., \*ჩიკვაძე ი., \*სიღამონიძე ნ., \*\*სნესარ ა.

*\*ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი*

*\*\*ნებოცემენტის კომპანია „ჰენკელი“*

*\*\*\*საბურავების გადამამუშავებელი საწარმო TRC*

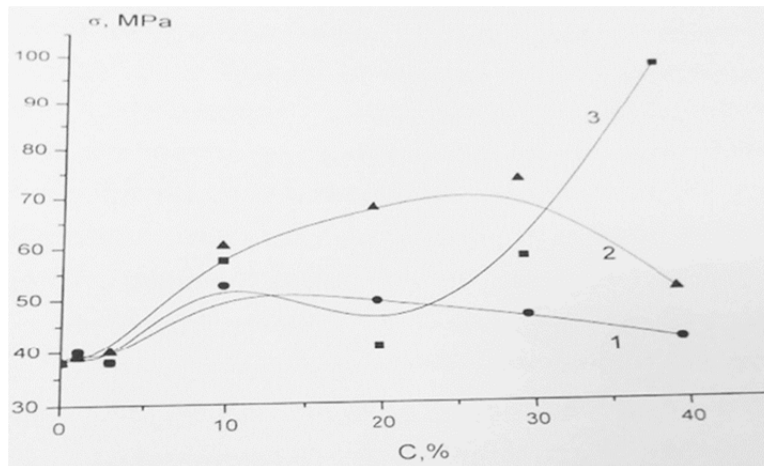
**ანოტაცია.** უკანასკნელ წლებში დიდი ყურადღება ექცევა ნარჩენებისა და საყოფაცხოვრებო ნარჩენების გამოყენებას პოლიმერული კომპოზიტების მისაღებად. მათი გამოყენება შეიძლება როგორც ცალკე, ისე მოდიფიცირებული სახით. ასევე შესაძლებელია გამოყენებული იქნეს როგორც შემავსებელი. ჩვენი სამუშაოს მიზანს შეადგენდა ეპოქიდური ფისისა და საყოფაცხოვრებო რეზინის ნარჩენების ბაზაზე კომპოზიტიური მასალების მომზადება და მათი თვისებების შესწავლა. აღნიშნული მასალებისათვის გამოცდილი იქნა: ნყალშთანთქმა, სიმტკიცე გალუნვაზე და კუმშვაზე, ადჰეზიაზე.

**საკვანძო სიტყვები:** ნებო, რეზინა, კომპოზიტი

სილიციუმის შემცველი ნაერთების უმეტესობა დადებითად ცვლის კომპოზიტიური მასალების თვისებებს. კარგი ფიზიკო-მექანიკური და ტექნოლოგიური თვისებების გამო ეპოქსიდური ფისები ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა სახის მასალების მისაღებად, თბომედეგ ნებოებად, კომპოზიტებად, რომლებიც მუშაობენ ექსტრემალურ პირობებში [1-10].

ეპოქსიდური ფისის, რეზინების ნარჩენებისა და ეთილსილიკატის ბაზაზე მიღებულია კომპოზიტები, რომლებსაც ჩაუტარდათ ტესტირება. დადგენილი იქნა კომპოზიტების სიმტკიცის ზღვარი და მისი დამოკიდებულება როგორც რეზინის ნარჩენის შემცველობაზე, ისე მისი ეთილსილიკატით მოდიფიცირებაზე. ნახ.1 მრუდების ხასიათის მიხედვით თუ ვიმსჯელებთ, შეიძლება გამოითქვას აზრი, რეზინის ნარჩენების მიერ ეპოქსიდურ ფისზე დაყრდნობით მიღებული კომპოზიტების სიმტკიცის ზღვრის გადიდების შესახებ შემავსებლის გარკვეული კონცენტრაციებისათვის. ნახაზე მოცემული სამი მრუდი ერთმანეთისაგან განსხვავდება როგორც თვისობრივად, ისე რაოდენობრივად. პირველი მრუდი შეესაბამება სიმტკიცის ზღვრის დამოკიდებულებას არამოდიფიცირებული რეზინული ნარჩენების შემცველობაზე. ეს მრუდი ხასიათდება ფართო მაქსიმუმით, რაც საყოველთაოდ ცნობილ დამოკიდებულებას – „კომპოზიტების სიმტკიცე – შემავსებლის კონცენტრაცია“ ეთანადება.

არამოდიფიცირებული რეზინის ნარჩენების შემცველი კომპოზიტების მექანიკური სიმტკიცე მაქსიმუმს აღწევს შედარებით დაბალი შემცველობისას (10-20%) მაშინ, როდესაც ეთილსილიკატით (3-5%) მოდიფიცირებული რეზინის ნარჩენი შესაბამისი კონცენტრაციების დროს მნიშვნელოვნად ზრდის კომპოზიტის მექანიკურ სიმტკიცეს და მაქსიმუმს ანაცვლებს რეზინის ნარჩენების მაღალი შემცველობისაკენ (მრუდები 2 და 3), რაც პრაქტიკულად მნიშვნელოვან შედეგად შეიძლება ჩაითვალოს – რაც უფრო მეტ მინერალურ შემავსებელს შეიცავს პოლიმერული კომპოზიტი, მით უფრო დაბალია მისი თვითღირებულება. მეტად თავისებურია მრუდი 3, რომელსაც ჩვენს მიერ აღებულ დიაპაზონში ერთი მაქსიმუმი აღმოაჩნდა შემავსებლის შედარებით დაბალ კონცენტრაციებზე, ხოლო მაღალ კონცენტრაციებზე მრუდი შეწყვეტილია იმის გამო, რომ შემავსებლის მაღალი შემცველობის კომპოზიტების მიღება ტექნიკურად რთულია. ეს გამომწვეულია იმით, რომ რეზინის ნარჩენის მაღალი შემცველობისას პოლიმერულ მატრიცაში შემავსებლის ჰომოგენურად განაწილება რთულდება.



**ნახ. 1. ED-20 რეზინის ნარჩენის კომპოზიტების სიმტკიცის ზღვრის დამოკიდებულება რეზინის ნარჩენების შემცველობაზე არამოდიფიცირებული (1), მოდიფიცირებული 3% (2) და 5% (3) ეთილსილიკატით ნიმუშებისათვის.**

მრუდების ხასიათიდან გამომდინარე წვრილდისპერსიული რეზინის საბურავების ფხვნილი მნიშვნელოვნად ზრდის მასების სიმკვრივეს და იმავდროულად მის სიმაგრეს შესაბამისი კონცენტრაციების შემცველ კომპოზიტებთან შედარებით. განხილული კომპოზიტების მექანიკურ თვისებებზე მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს მოდიფიკატორი – ეთილსილიკატი. სილოქსანური ნაერთი, რომელიც განლაგებულია რეზინის მარცვლების ზედაპირზე, ააქტიურებს ამ უკანასკნელს და ადვილად შესაძლებელია, რომ კომპოზიტების თერმოდამუშავების პროცესში ეთილსილიკატმა ბმები შექმნას (ზოგიერთი აქტიური ჯგუფის მონაწილეობით) ჰომოპოლიმერის მაკრომოლეკულებთან, შეავსოს პოლიმერის ბლოკებს შორის არსებული სიცარიელები და შექმნას „ბუფერული“ ზონა შემავსებელსა და ჰომოპოლიმერს შორის. ამით არის გამოწვეული ის, რომ ეპოქსიდურ ფისსა და ეთილსილიკატს შორის ურთიერთქმედების შედეგად წარმოიქმნება დამატებითი ფიზიკური ვანდერვაალსური, სორბციული და ქიმიური ბმები, რომლებიც საერთო ჯამში ზრდიან კომპოზიტის მექანიკურ სიმტკიცეს შესაბამის არამოდიფიცირებულ კომპოზიტებთან შედარებით. მოდიფიცირებული რეზინის ფხვნილით შევსებული ეპოქსიდური ფისი ავლენს უკეთესს თავსებადობას, ვიდრე არამოდიფიცირებული კომპოზიტები, რაც შესაძარბებელი ობიექტების მექანიკური სიმტკიცის მნიშვნელობებიდან ჩანს. მექანიკური ძაბვები, რომელიც წარმოიქმნება კომპოზიტში მისი მკუმშავი თუ გამჭიმავი ძალების ზემოქმედებით, ეფექტურად „შთანთქმება“ შედარებით რბილი სილოქსანური ფაზის მიერ, ე.ი. მიკრო დეფექტების განვითარება კარბოჯაჭვურ მატრიცაში შეზღუდულია და წყდება სილოქსანური ჩანართების უბანში, რაც საბოლოოდ ამცირებს კომპოზიტის სიხისტეს. სტრუქტურული თავისებურებანი თავს იჩენს აგრეთვე საკვლევი მასალების თერმომექანიკურ ხასიათში. ეთილსილიკატით მოდიფიცირებული რეზინის ნარჩენების შემცველი კომპოზიტების გარბილების ტემპერატურა მუდმივი ხდება შედარებით მაღალ ტემპერატურებზე, ვიდრე არამოდიფიცირებული რეზინის ნარჩენების შემცველ კომპოზიტების შემთხვევაში. ეს მოვლენა კარგ კორელაციაშია შესაბამისი კომპოზიტების მექანიკური სიმტკიცის სიდიდებთან. ცხადია, მოდიფიცირებული შემავსებელი აქ უფრო ძლიერ კონტაქტშია (მოდიფიკატორის მეშვეობით) პოლიმერის მოლეკულებთან, ვიდრე არამოდიფიცირებული.

ეთილსილიკატის მეშვეობით გაძლიერებული თავსებადობა კომპოზიტის კარბოჯაჭვურ მატრიცაში რეზინის ნარჩენებთან კარგად ჩანს წყალშთანთქმის მაჩვენებლების მიხედვით. ცხრილი 1-ის მონაცემები გვიჩვენებენ, რომ შემავსებლის კონცენტრაციის ზრდა იწვევს საზოგადოდ მიკროსტრუქტურების გაფაშარებას, ერთმანეთთან კავშირში მყოფი, თუ არამყოფი მიკროსიციარიელების გაჩენას, რაც იწვევს წყალშთანთქმის მაჩვენებლის გაზრდას. ეთილსილიკატით მოდიფიცირებული რეზინის ნარჩენების შემცველ კომპოზიტებში ეს მაჩვენებლები

რამდენიმეჯერ დაბალია არამოდულიცირებულ რეზინის ნარჩენებით შევსებულ კომპოზიტებთან შედარებით. ცხადია, აქ მხედველობაში უნდა მივიღოთ სილოქსანური ნაერთების საყოველთაოდ ცნობილი თვისება-ჰიდროფობურობა, რის გამოც წყალშთანთქმა მოდიფიცირებულ შემსვსებთან კომპოზიტში შესამჩნევად მცირდება.

ამრიგად დადგენილია, რომ ეთილსილიკატი კომპოზიტს უზრდის ჰიდროფობურობას 4-ჯერ 10% შემცველობისას, ამაღლებს გარბილების ტემპერატურას და მექანიკურ სიმტკიცეს. დადგენილია, რომ შემსვსების რეზინის ნარჩენების მოდიფიცირება 3% და 5% ეთილსილიკატით რეზინის ნარჩენების გარკვეულ კონცენტრაციამდე იწვევს კომპოზიტის მექანიკური სიმტკიცის გაზრდას. ამ დამოკიდებულების მრუდს გააჩნია მაქსიმუმი, რომელიც გაცილებით აღემატება არამოდულიცირებული რეზინის ნარჩენებით შევსებულ კომპოზიტს. ნაჩვენებია, რომ 5% ეთილსილიკატით მოდიფიცირებული რეზინის ნარჩენების შემცველი კომპოზიტის სიმტკიცის მაქსიმუმი მნიშვნელოვნად აღემატება 3% მოდიფიცირებული რეზინის ნარჩენების შემცველ კომპოზიტის სიმტკიცის მაქსიმუმს და ყველა კომპოზიტი, რომელიც შეიცავს ეთილსილიკატით დამუშავებულ რეზინის ნარჩენებს ხასიათდება ჰიდროფობურობით.

**ცხრილი 1. კომპოზიტის წყალშთანთქმის დამოკიდებულება ეთილსილიკატის შემცველობაზე.**

რეზინის ნარჩენების შემცველობა	ეთილსილიკატის შემცველობა	წყალშთანთქმა % 3 საათის შემდეგ	წყალშთანთქმა % 24 საათის შემდეგ	სიმკვრივე
10	0	0	0	1.1252
20	0	0.08	0.12	1.2332
40	0	0.14	0.36	1.2546
10	3	0.053	0.108	1.2198
10	5	0.032	0.100	1.2341
20	3	0.062	0.116	1.2455
30	5	0.072	0.266	1.2678

## ლიტერატურა

- [1] Hernandez R. J., Selke S. E. M., Culter J. D. *Plastics Packaging*. // Hanser, Munich, 2000.
- [2] Hunger H. K. *Industrial Organic Pigments*. // VCH, Weinheim, 1993.
- [3] Сорокин М.Ф., Лялюшко К.А. *Практикум по химии и технологии пленкообразующих веществ*.// М. Химия, 1971, 246 с.
- [4] Горловский И.Ф., Бочарова А.М., Суворова В.Д.. *Лабораторный практикум по химии и технология пигментов*. // Л. Химия, 1978, 223 с.
- [5] Багажков С. Г., Суханова Н. А. *Практикум по технологии лакокрасочных покрытий*. // М. Химия, 1982. 240с.
- [6] Яковлев А.Д. *Порошковые краски*. // Л. Химия, 1987, 216 с.
- [7] Карякина М.И., Попцов В.Е. *Технология полимерных покрытий*. // М. Химия, 1983, 335 с.
- [8] Благонравова А. А., Непомнящий А. И. *Лаковые эпоксидные смолы*. // М.: Химия, 1970, 248 с.
- [9] Верхованцев В. В. *Водные краски на основе синтетических полимеров*. // Л.: Химия, 1968. 200 с.
- [10] Гольдберг М.М. *Материалы для лакокрасочных покрытий*. // М. Химия, 1972, 342 с.

## COMPOSITES BASED ON EPOXY RESIN AND RUBBER WASTE

**Markarashvili E., Bazgadze Z., G., Chikvaidze I., Sidamonidze N., Snesar A.**

**Abstract.** *In recent years, much attention has been paid to the use of production and household waste to obtain polymer composites. They can be used both separately and in a modified form. It can also be used as a filler. The purpose of our work was to prepare composite materials based on epoxy resin and household rubber waste and to study their properties. The following materials were tested: water absorption, bending and bending strength, adhesion.*

**Key words:** *glue, rubber, composite*

## ახალი თაობის სასუქის „ლეონარდის“ გავლენა წითელმიწა ნიადაგის და მანდარინ „უნშიუს“ ქიმიურ შემადგენლობაზე

კიკნაძე ნ., დავითაძე ლ., თავდგირიძე გ., კუჭავა მ., გოგიტიძე თ.

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

**ანოტაცია.** აჭარის არ სოფ. გორგაძეებში დაყენებულ მინდვრის ცდაში შესწავლილია ახალი თაობის სასუქის – „ლეონარდის“ გავლენა წითელმიწა ნიადაგის ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე, მანდარინ „უნშიუს“ რბილობის ელემენტურ შედგენილობაზე და მის მოსავლიანობაზე. ლეონარდის ეფექტურობის შესწავლა ხდებოდა რთულ NPK-სასუქთან და  $NH_4NO_3$ -თან შედარებით. ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე დადგენილია, რომ ლეონარდის შეტანის ვარიანტზე ნიადაგის pH ნეიტრალურთან მიახლოებულია (pH 6.56), ხოლო საერთო ჰუმუსით (5.34%) და აზოტით (0.60%) უზრუნველყოფის ხარისხი – მაღალია. ლეონარდითი მდიდარია ელემენტებით: Ca, Mg, P, Fe, Cu, Zn, Mn. ლეონარდის შეტანის ვარიანტზე, დამაჯერებლად გაიზარდა ნიადაგში მაკროელემენტების – ფოსფორის, კალციუმის, კალიუმის, მაგნიუმის, რკინის, ასევე მიკროელემენტების – მანგანუმის, თუთიის და სპილენძის შემცველობა, რაც ნიადაგის აგროქიმიური თვისებების გაუმჯობესებაზე მიუთითებს. ანალოგიური კანონზომიერება გამოიკვეთა ლეონარდის შეტანით მანდარინ „უნშიუს“ რბილობში, რაც გამოიხატა ზემოაღნიშნული ელემენტების კონცენტრაციის მატებაში, სხვა ვარიანტებთან შედარებით. ლეონარდის შეტანის ვარიანტი მოსავლიანობით 1,58-ჯერ აღემატებოდა ამონიუმის გვარჯილის შეტანის ვარიანტს და 2,45-ჯერ აღემატებოდა ფონის ვარიანტს.

**საკვანძო სიტყვა:** ლეონარდითი; წითელმიწა; ანალიზი; უნშიუ; ხარისხობრივი მაჩვენებლები.

**აქტუალობა.** „ლეონარდითი“ წარმოადგენს ბუნებრივ პირობებში დაჟანგულ და ხანგრძლივი გამოფიტვის შედეგად გარდაქმნილ ლიგნიტს (ლიგნიტი – მურა ნახშირის სახესხვაობაა, რომელიც შეიცავს 60-75% ნახშირბადს). „ლეონარდითი“ რბილი, ბრწყინავი ცვილისებრი მინერალოიდია (მინერალოიდი – ბუნებრივი მყარი ნივთიერება, მინისებრი, პოლიმერული სტრუქტურის). ლეონარდითიდან წარმოებული პროდუქტი წარმოადგენს ფხვილისებრ მასას ან წვრილ 3მმ დიამეტრის მოყავისფრო-შავი ფერის გრანულებს და მათ იყენებენ ორგანო-მინერალური სასუქის სახით. „ლეონარდის“ საბადოები გავრცელებულია აშშ-ში, კანადაში, ავსტრალიაში, რუსეთში, ნაკლებად-თუქეთში, საბერძნეთში, ტაილანდში. „ლეონარდის“ მოიპოვებენ მურა ნახშირის საბადოების ზედა ფენებში, რომლებიც განლაგებულია მინის ზედაპირის სიახლოვეს. ამიტომ მისი ქიმიური შედგენილობა და მასში ჰუმინის მჟავების შემცველობა დამოკიდებულია საბადოს ადგილმდებარეობაზე. „ლეონარდის“ წარმოშობას უკავშირებენ ცხოველური და მცენარეული ორგანიზმების საბოლოო ჰუმინიფიკაციის პროცესს მიკროორგანიზმების მეშვეობით, რომლის ხანგრძლივობა 70 მილიონ წელს ითვლის, მაშინ როცა ტორფი წარმოიქმნება რამდენიმე ათასი წლის მანძილზე. სხვა ჰუმინის შემცველი პროდუქტებისგან (საპროპელი, ტორფი) განსხვავებით, „ლეონარდის“ ახასიათებს მისი მოლეკულური სტრუქტურის უნიკალურობა, რომელიც განაპირობებს მის მაღალ ბიოლოგიურ აქტივობას და ამას ხსნიან მისი მოლეკულების მაღალი მოლეკულური მასით (>2500), საპროპელსა (1000-მდე) და ტორფთან (500-2500) შედარებით [6, 10].

„ლეონარდის“ გამოყენების ძირითადი სფეროებია: სოფლის მეურნეობა (განყოფილება და მიწების რეკულტივაცია), მეცხოველეობა (კვება), მეფრინველეობა, მეთევზეობა, მედიცინა (საკვები და ბიოდანამატები), ჰიდროქიმი (წყლის განმენდა). „ლეონარდის“ გააჩნია მაღალი კათიონური

გაცვლის, წყლის შეკავების და ბუფერული უნარი, რის ხარჯზეც ნიადაგი რეზისტენტული ხდება სტრეს-ფაქტორების მიმართ (გვალვა, მარილიანობა, პესტიციდები და ა.შ). „ლეონარდიტი“ ასტიმულირებს ნიადაგის მიკროფლორის აქტივობას, მასში შემავალი ნახშირჟანგის (CO) საშუალებით, აუმჯობესებს ნიადაგის სტრუქტურას და აერაციას, უზრუნველყოფს ნიადაგში pH-ის ნეიტრალურ დონეს, ხელს უწყობს მცენარეების ზრდას, ფერმენტაციასა და უჯრედების დაყოფას მცენარეებსა და ბაქტერიებში, ასევე გამოიყენება ქლოროზის (რიკინის დეფიციტი) წინააღმდეგ საბრძოლველად, რადგანაც მის შემადგენლობაში შედის რკინა [7, 11]. „ლეონარდიტის“ მუტაგენური, კანცეროგენური, ემბრიოტოქსიკური გამოცდების მრავალრიცხოვანი კლინიკური კვლევები გამორიცხავს რაიმე სახის გვერდით ქმედებას, ამიტომ მას ეფექტურად იყენებენ საკვები დანამატების სახითაც [8, 12]. იგი შესაძლებელია გამოვიყენოთ ყველა ტიპის ნიადაგსა და მცენარეებზე. ამასთან, ლეონარდიტის შერევა შესაძლებელია ყველა სახის გრანულირებულ სასუქთან. იგი წარმოადგენს ბიოკატალიზატორს და მცენარეთა ბიოსტიმულატორს [13].

მიუხედავად იმისა, რომ „ლეონარდიტის“ მოპოვებითი სამუშაოები და მისი გავრცელება მსოფლიო ბაზარზე აქტიურად მიმდინარეობს, ჯერჯერობით მაინც არ არის მაქსიმალურად ოპტიმალურად გამოყენებული მისი ძვირფასი თვისებები სხვადასხვა სფეროში და განსაკუთრებით საქართველოს სოფლის მეურნეობაში. აჭარის ავტონომიურ რესპუბლიკაში კი ამ მიმართულებით კვლევები არ არის განხორციელებული, მითუმეტეს ეს ორგანო-მინერალური სასუქი პრაქტიკულად არ გამოიყენება ჩვენს სოფლის მეურნეობაში. სწორედ ამ მეტად აქტუალურმა საკითხმა განაპირობა ჩვენი ინტერესი და მცდელობა მისი ეფექტურობის შესწავლისადმი აჭარის წითელმინა ნიადაგების პირობებში.

**კვლევის მიზანს** წარმოადგენდა „ლეონარდიტის“, როგორც ახალი თაობის სასუქის გავლენის შესწავლა წითელმინა ნიადაგის ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე, მანდარინ „უნშიუს“ ქიმიურ შემადგენლობასა და მის მოსავლიანობაზე. ასევე ექსპერიმენტული მონაცემების გაანალიზების საფუძველზე, „ლეონარდიტის“ მოქმედების ეფექტურობის შეფასება-შედარება რთულ NPK-სასუქთან (ამოფოსკა) და ამონიუმის გვარჯილასთან შედარებით.

**კვლევის ამოცანებს** წარმოადგენდა წითელმინა ნიადაგის ძირითადი ხარისხობრივი მაჩვენებლების შეფასება, წითელმინა ნიადაგის მულტიელემენტური ანალიზი და მანდარინ უნშიუს რბილობის ელემენტური შედგენილობა განსაზღვრული ორ ვადაში: სასუქების შეტანამდე და სასუქების შეტანის შემდეგ; მანდარინ „უნშიუს“ მოსავლიანობის შეფასება; „ლეონარდიტის“ შეტანის ეფექტურობის შედარება ამოფოსკასთან და ამონიუმის გვარჯილასთან მიმართებაში. **კვლევის ობიექტი** იყო აჭარის ა/რ სოფ.გორგაძეების წითელმინა ნიადაგები, რომელზეც გაშენებულია მანდარინ „უნშიუს“ ბაღი და იმყოფება საცდელი ნაკვეთი.

**გამოყენებული მეთოდები:** საველე ცდა, ტიტრიმეტრული ანალიზი, პლაზმური ატომურ-ემისიური სპექტრომეტრული ანალიზი [1, 2, 9].

**მატერიალურ-ტექნიკურ ბაზას** წარმოადგენდა: ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის აგრარული და მემბრანული ტექნოლოგიების ინსტიტუტის აგროქიმიის, ანალიზური ქიმიის, პლაზმური ატომურ ემისიური სპექტრომეტრიის ლაბორატორიები.

## კვლევის შედეგები

### 1. წითელმინა ნიადაგის ძირითადი ხარისხობრივი მაჩვენებლების შეფასება.

საველე ცდა ლეონარდიტის ეფექტურობის გამოცდაზე დაყენებული იქნა 2022წ. სოფ. გორგაძეებში, წითელმინა ნიადაგებზე, მანდარინ „უნშიუს“ ქვეშ. აჭარაში წითელმინები გავრცელებულია ზღვის დონიდან 80-დან 200მ-მდე სიმაღლეზე. დომინანტი სასოფლოდსამეურნეო კულტურები, რომლებიც მოჰყავთ ამ ნიადაგებზე, არის – ციტრუსები, ტუნგო, თხილი, დაფნა, ერთწლიანი კულტურები [3]. საცდელი ნაკვეთი დაყოფილია 3 ვარიანტად, თითოეულ ვარიანტში შედის 6 ძირი ხე. ხეებს შორის მანძილი შეადგენს 3 მ-ს, რიგთაშორისებიც – 3მ-ს, ანუ ნაკვეთის დაგეგმვა ჭადრაკისებურია 3×3მ. ცდის დაყენების პირველ წელს ნიადაგებში საერთო ფონის შექმნის მიზნით, ყველა

ვარიანტზე შეტანილი იქნა რთული NPK სასუქი (ამოფოსკა –  $(NH_4)_2SO_4+(NH_4)_2HPO_4+K_2SO_4$ ; N:P:K=16:16:16%); 2023-2024წწ. მე-2 და მე-3 ვარიანტებზე მოხდა სასუქების შეტანა შემდეგი სქემით: 2. NPK+ $NH_4NO_3$  (N 34.4%); 3. NPK+ „ლეონარდიტი“. სასუქების შეტანა ხდებოდა მარტის ბოლოს, მათი შემდგომი ჩათოხვნით ნიადაგში. სასუქების დოზა – 250 გრ/ძირზე. ჩვენს მიერ შექმნილი იქნა თურქული წარმოშობის „ლეონარდიტი“ (Humic+ Fulvic acid – 40%, pH 5-7). საცდელ ნაკვეთზე აღებული იქნა ნიადაგის ნიმუშები 0-40 სმ სიღრმეზე, როგორც სასუქების შეტანამდე, ასევე შეტანის შემდეგ და ნიადაგებში განისაზღვრა ზოგიერთი აგროქიმიური მაჩვენებელი და ქიმიური ელემენტები. სასუქების შეტანამდე ნიადაგების რეაქცია იყო სუსტი მჟავა, ხოლო საერთო ჰუმუსით და საერთო აზოტით უზრუნველყოფის ხარისხი – საშუალო (ცხრილი 1). სასუქების შეტანის შემდეგ ლეონარდიტის ვარიანტზე ნიადაგის რეაქცია გახდა ნეიტრალურთან მიახლოებული (pH 6,56) ხოლო საერთო ჰუმუსით (5,34%) და აზოტით (0,60%) უზრუნველყოფის ხარისხი – მდიდარი. საერთო აზოტით უზრუნველყოფის ხარისხი ამაღლდა მე-2 ვარიანტზეც -0,58%.

**ცხრილი 1. ნიადაგების ზოგიერთი აგროქიმიური მაჩვენებელი**

№	ვარიანტი	სასუქების შეტანამდე				
		ნიმუშის აღების სიღრმე,სმ	pH		%	
			H <sub>2</sub> O	აქტიური რეაქცია	საერთო ჰუმუსი	საერთო აზოტი
1	NPK (ამოფოსკა)-ფონი	0-40	5.45	სუსტი მჟავა	4.34	0.31
2	NPK-ფონი	0-40	5.48	სუსტი მჟავა	4.35	0,32
3	NPK-ფონი	0-40	5.85	სუსტი მჟავა	4.37	0.32
<b>სასუქების შეტანის შემდეგ</b>						
1	NPK-ფონი	0-40	5.24	სუსტი მჟავა	4.52	0.50
2	NPK+ $NH_4NO_3$	0-40	5.36	სუსტი მჟავა	4.73	0.52
3	NPK+ლეონარდიტი	0-40	6.56	ნეიტრ.მიახ.	5.64	0.60
<b>უზრუნველყოფის ხარისხი</b>					<b>&lt;3-ლარიბი</b> <b>3-5 –საშუალო</b> <b>&gt;5 –მდიდარი</b>	<b>&lt;0.3-ლარიბი</b> <b>0.3-0.5 – საშუალო</b> <b>&gt;0.5–მდიდარი</b>

ჩვენს მიერ განსაზღვრული იქნა ლეონარდიტის ქიმიური შედგენილობა მის წყლიან გამონაწერში პლაზმური ატომურ-ემისიური სპექტრომეტრით ICPE-9820-ზე. დადგინდა, რომ ლეონარდიტი პრაქტიკულად არ შეიცავს ნატრიუმს და სილიციუმს, ხოლო მიკროელემენტებიდან – As, Be, Ba,Cd, Co, Cr, Hg, Li, Pb, Sb, Se, Ti, V-s. მაკროელემენტებიდან ლეონარდიტი მდიდარია კალციუმით, კალიუმით, მაგნიუმით, შედარებით ნაკლებად რკინით და ფოსფორით. მიკროელემენტებიდან იგი შეიცავს თუთიას, სპილენძს, ბორს, მოლიბდენს, მანგანუმს და უმნიშვნელოდ ნიკელს (ცხრილი 2).

**ცხრილი 2. ლეონარდიტის ელემენტური შედგენილობა**

ლეონარდიტის (წყლიანი გამონაწერი 1:5)	მაკროელემენტები მგ/კგ							
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	P	Si
	2.21	5200	538.2	1150	1860	-	489.0	-
	მიკროელემენტები მგ/კგ							
	B	Ni	Cu	Mn	Mo	Zn		
0.599	0.0576	2.276	0.215	0.266	5.65			

**II. წითელმიწა ნიადაგის მულტიელემენტური ანალიზი სასუქების შეტანამდე და შეტანის შემდეგ**

ნიადაგის წყლიანი გამონაწურის მულტიელემენტური ანალიზის შედეგებმა აჩვენა, რომ მაკროელემენტებიდან – უპირატესობა ენიჭება Al-ს და Ca-ს. შემდეგ მოდის Si, Mg, K, Fe. ნიადაგები არ შეიცავენ ნატრიუმს, ანუ არ არიან დაბიცობებული. მიკროელემენტებიდან ნიადაგი არ შეიცავს: As, Cd, Hg, Pb, Sb, Se, Ti, Be, Co, Li, Mo, V. თუთია მცირე რაოდენობით დაფიქსირდა მე-3 ვარიანტზე (ცხრილი 3). სასუქების შეტანის შემდეგ მაკროელემენტებიდან პირველ და მეორე ვარიანტებზე მნიშვნელოვნად გაიზარდა Al-ის, K-ის და P-ის კონცენტრაცია, ნაკლებად – Ca-ის, და Mg. ლეონარდიტის შეტანის ვარიანტზე, ნიადაგში მომატებულია P-ის, Ca-ის, K-ის, Mg-ის შემცველობა, რაც ნიადაგის აგროქიმიური თვისებების გაუმჯობესებაზე მიუთითებს. მიკროელემენტებიდან ლეონარდიტის შეტანის ვარიანტზე ნიადაგში გაიზარდა Mn-ის, Zn-ის Cu-ის და B-ის შემცველობა, რადგანაც თავად ლეონარდიტი შეიცავდა ამ ელემენტებს (ცხრილი 4).

**ცხრილი 3. ნიადაგების წყლიანი გამონაწურის მულტიელემენტური ანალიზი**

ვარიანტი	მაკროელემენტების შემცველობა 0–40 სმ ფენაში, მგ/კგ სასუქების შეტანამდე							
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	P	Si
NPK-ფონი	75.56	43.7	2.530	4.02	5.82	-	2.53	12.3
NPK-ფონი	78.1	40.2	2.650	4.312	4.58	-	2.45	11.7
NPK-ფონი	77.05	45.0	2.828	4.15	5.28	-	3.24	12.4
	სასუქების შეტანის შემდეგ							
NPK-ფონი	95.56	46.2	4.45	269.0	6.10	-	283.0	13.2
NPK+NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	92.10	54.6	5.69	284.0	7.13	-	278.4	14.9
NPK+ლეონარდიტი	82.30	758.0	7.98	502.6	67.0	-	336.0	12.7

**ცხრილი 4. ნიადაგების წყლიანი გამონაწურის მულტიელემენტური ანალიზი**

ვარიანტი	მიკროელემენტების შემცველობა 0–40 სმ ფენაში, მგ/კგ სასუქების შეტანამდე							
	B	Ba	Ni	Cu	Mn	Mo	Cr	Zn
NPK-ფონი	0.0911	0.0021	0.0106	0.0157	0.0295	0.118	0.0041	-
NPK-ფონი	0.0378	0.0017	0.0087	0.0169	0.0362	0.105	0.0028	-
NPK-ფონი	0.0494	0.0019	0.0107	0.0191	0.0423	0.168	0.0015	-
	სასუქების შეტანის შემდეგ							
NPK-ფონი	0.0514	0.00238	0.0108	0.087	1.073	0.126	0.00142	-
NPK+NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	0.0363	0.00284	0.0091	0.079	1.091	0.116	0.00152	-
NPK+ლეონარდიტი	0.0861	0.00234	0.0108	1.84	0.104	0.179	0.00131	1.34
<b>ზღვ</b>	<b>0,5</b>	<b>0,0025</b>	<b>4.0</b>	<b>3,0</b>	<b>5.0</b>	<b>0,35</b>	<b>3.0</b>	<b>4.5</b>

**III. მანდარინ „უნშიუს“ რბილობის ელემენტური შედგენილობა და მოსავლიანობა**

ჩვენს მიერ ასევე ჩატარებული იქნა მანდარინ „უნშიუს“ რბილობის მულტიელემენტური ანალიზი, რომელმაც აჩვენა, რომ ლეონარდიტის შეტანით მანდარინის რბილობში მაკროელემენტებიდან დაფიქსირებულია Ca-ის, K-ის, P-ის, და Mg-ის კონცენტრაციის ზრდა. მიკროელემენტებიდან ლეო-



ნარდიტის შეტანის ვარიანტზე, სხვა ვარიანტებთან შედარებით, დაფიქსირდა Cu-ის, Mn-ის, Zn-ის და B-ის. კონცენტრაციის მატება მანდარინის რბილობში (ცხრილი 5).

**ცხრილი 5. მანდარინის რბილობის მულტიელემენტური ანალიზი სასუქების შეტანის შემდეგ.**

ვარიანტი	მაკროელემენტების შემცველობა, მგ/კგ							
	Al	Ca	Fe	K	Mg	Na	P	Si
<b>NPK-ფონი</b>	6.55	1.93	1.531	144	1.04	-	148	5.3
<b>NPK+NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub></b>	4.38	2.37	1.54	188	2.14	-	102	6.1
<b>NPK+ლეონარდიტი</b>	2.36	301	2.831	269	12.9	-	165	3.6
	მიკროელემენტების შემცველობა, მგ/კგ							
	B	Ba	Ni	Cu	Mn	Mo	Cr	Zn
<b>NPK-ფონი</b>	0.0235	-	0.0013	0.0121	0.0453	0.0043	-	-
<b>NPK+NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub></b>	0.016	-	0.0014	0.01574	0.0341	0.0037	-	-
<b>NPK+ლეონარდიტი</b>	0.013	-	0.0027	0.192	0.052	0.00943	-	0.124

საცდელ ნაკვეთზე მოსავლის აღება და აღრიცხვა ხდებოდა ნოემბრის ბოლოს-დეკემბრის დასაწყისში. მიღებული შედეგებით დადგინდა, რომ ლეონარდიტის შეტანის ვარიანტი მოსავლიანობით 1,58-ჯერ აღემატებოდა ამონიუმის გვარჯილის შეტანის ვარიანტს და 2,45-ჯერ აღემატებოდა ფონის ვარიანტს. ამასთან, მსხმოიარობის მიხედვით და ნაყოფის ზომების მიხედვითაც, მესამე ვარიანტი გაცილებით სჯობდა პირველ და მეორე ვარიანტებს (ცხრილი 6).

**ცხრილი 6. მანდარინ უნშიუს მოსავალი ვარიანტების მიხედვით, 2024 წ.**

ვარიანტი	მოსავალი, კგ
<b>NPK-ფონი</b>	129.40
<b>NPK+NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub></b>	200.40
<b>NPK+ლეონარდიტი</b>	316.60

## დასკვნა

1. ორგანო-მუნერალური სასუქის – „ლეონარდიტის ეფექტურობის გამოცდამ წითელმინა ნიადაგებზე მანდარინ „უნშიუს“ ქვეშ აჩვენა, რომ ნიადაგის რეაქცია და მისი ზოგიერთი აგროქიმიური მაჩვენებელი (საერთო ჰუმუსი, საერთო აზოტი) გაუმჯობესდა, რაც წითელმინა ნიადაგის ნაყოფიერების ხარისხის ამაღლებაზე მიუთითებს.
2. ლეონარდიტის შეტანით, ნიადაგში მომატებულია ფოსფორის, კალციუმის, კალიუმის და მაგნიუმის კონცენტრაცია, ასევე მცენარისათვის მეტად აუცილებელი მიკროელემენტების-მანგანუმის, თუთიის, სპილენძის და ბორის კონცენტრაცია.
3. ლეონარდიტის შეტანის ვარიანტზე მანდარინის რბილობში დაფიქსირდა კალციუმის, კალიუმის, ფოსფორის, გაზრდილი შემცველობა, ხოლო მიკროელემენტებიდან – სპილენძის და თუთიის კონცენტრაციის მატება.
4. ლეონარდიტის შეტანის ვარიანტი მოსავლიანობით 1,58-ჯერ აღემატებოდა ამონიუმის გვარჯილის შეტანის და 2,45-ჯერ – ფონის ვარიანტს. ამასთან, აღნიშნული ვარიანტი გამოიჩინა მსხმოიარობის და ნაყოფის ზომების მიხედვითაც.

## ლიტერატურა

- [1] მარგველაშვილი გ. ნიადაგის ქიმიური ანალიზი. // თბილისი, გამომცემლობა „საჩინო“, ISBN 978-9941-8-1511-9, 2019, 331 გვ.
- [2] საქართველოს შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის მინისტრის ბრძანება №297/6 2001 წლის 16 აგვისტო ქ. თბილისი გარემოს ხარისხობრივი მდგომარეობის ნორმების დამტკიცების შესახებ.
- [3] <https://faolex.fao.org/docs/pdf/geo167707.pdf>
- [4] ონიანი ო., მარგველაშვილი გ. მცენარის ქიმიური ანალიზი. // თბილისი, გამომცემლობა „განათლება“, 1978, გვ.18–22
- [5] აველე ნიადაგმცოდნეობა. // თბილისი, 2016, 171 გვ.  
ht[5]. [tps://iverieli.nplg.gov.ge/bitstream/1234/195038/1/Savele\\_Niadagmcdneoba.pdf](tps://iverieli.nplg.gov.ge/bitstream/1234/195038/1/Savele_Niadagmcdneoba.pdf)
- [6] Francioso O., Sánchez-Cortés S., Tugnoli V., Marzadori C., Ciavatta C. Spectroscopic study (DRIFT, SERS and <sup>1</sup>H NMR) of peat, leonardite and lignite humic substances. // Journal of Molecular Structure, Volumes 565–566, 30 May 2001, pp. 481-485. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002228600009054>
- [7] Ricca G., Severini F., Silvestro G.Di, Yuan C.M., Adani F. Derivatization and structural studies by spectroscopic methods of humic acids from Leonardite. // Geoderma, Volume 98, Issues 3–4, 1 December 2000, pp. 115-125.
- [8] Кузнецов. Свойства бурых углей как сырья для технологической переработки. // Химия твердого топлива, ISSN 0023-1177, вып. 6, 2013, с. 19–23. doi:10.7868/s0023117713060066
- [9] Беккер Ю. Спектроскопия. Издание 1-е. // ISBN 978-5-94836-220-5. 2009, 528 с.
- [10] <https://greenodin.site/ru/leonardit-organicheskaya-sostavlyayushchaya-udobreniy-greenodin>
- [11] <https://aegroup.com.ua/ru/leonardit/>
- [12] <https://ivan-ovsinsky.com/leonardit>
- [13] <https://agriecomission.com/base/chto-takoe-leonardit>

### THE EFFECT OF THE NEW GENERATION FERTILIZER “LEONARDITE” ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF RED SOIL AND MANDARIN “UNSHIU”

Kiknadze N., Davitadze L., Tavdgiridze G., Kuchava M., Gogitidze T.

**Abstract.** *In the field test set in Gorgadze, Adjara autonomous republic village, the influence of new generation fertilizer – “Leonardite” on the quality indicators of the red soil, on the elemental composition of mandarin “Unshiu” pulp and its yield was studied. The effectiveness of Leonardite was studied in comparison with complex NPK-fertilizer and NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>. Based on the experimental data, it is established that the pH of the soil, on the option of adding Leonardite, is close to neutral (pH 6.56), and the quality of provision with total humus (5.34%) and nitrogen (0.60%) is high. Leonardite is rich in elements: Ca, Mg, P, Fe, Cu, Zn, Mn. On the option of adding Leonardite, the content of macroelements – phosphorus, calcium, potassium, magnesium, iron, as well as microelements – manganese, zinc and copper in the soil has reliably increased, which indicates the improvement of agrochemical properties of the soil. Analogous regularity was revealed by the inclusion of leonardite in Mandarin “Unshiu” pulp, which was manifested in an increase in the concentration of the above-mentioned elements, compared to other options. The leonardite variant in terms of harvest 1.58 times bigger than the ammonium nitrate variant and 2.45 times bigger than the background variant.*

**Keywords:** *Leonardite; Red soil; Analysis; Unshiu; Qualitative Indicators.*

## შავი ზღვის ზედა ტურბულენტურ ფენაში ტემპერატურის ველის საწყის პირობებზე მგრძობალობის რისხვითი გამოკვლევა ზღვის დინამიკის რისხვითი მოდელის გამოყენებით

**\*,\*\* კვარაცხელია დ., \* დემეტრაშვილი დ.**

*\*ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის  
მ. ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თბილისი, საქართველო  
\*\*ზინესისა და ტექნოლოგიების უნივერსიტეტი, თბილისი. საქართველო*

**ანოტაცია.** მოცემულ სტატიაში ჩვენი მიზანია, ზღვის დინამიკის 3-განზომილებიანი აუზის მასშტაბის რიცხვითი მოდელის გამოყენებით გამოვიკვლიოთ შავი ზღვის ზედა ტურბულენტური ფენის ტემპერატურის ველის მგრძობალობა საწყისი პირობების ცვლილებების მიმართ. ამ მიზნით მოდელი ფუნქციონირებს 2 წლის განმავლობაში და საწყის ეტაპზე მასში ინიციალიზირებულია ზღვის მახასიათებელი პარამეტრების საშუალო წლიური სიმულირებული მონაცემები, ხოლო ერთი წლის მერე საწყის პირობად ავტომატურად გამოიყენება ერთწლიანი ინტეგრირებისას მიღებული დეკემბრის ბოლო დღის მონაცემები. როგორც იანვრის თვის მაგალითზე ჩატარებულმა კვლევამ აჩვენა, ტემპერატურის ველში საწყისი პირობების როლი შესამჩნევად მცირდება დინამიკაში. ამავე დროს, დეკემბრის მონაცემების ავტომატური გათვალისწინება მოდელში, რომელიც გამოირჩევა სეზონური თავისებურებებით, მნიშვნელოვნად ზრდის ტემპერატურის ველის სიახლოვეს კოპერნიკის საზღვაო სერვისის მონაცემებთან.

**საკვანძო სიტყვები:** საწყისი პირობები, პრიმიტიული განტოლებათა სისტემა, რიცხვითი მოდელი, ტურბულენტური ფენა.

### 1. მიმოხილვა

ბოლო ათწლეულებში, გლობალური დათბობისა და კლიმატის ცვლილების ფონზე, საზღვაო სისტემაში, მთელი რიგი ძალისხმევით დაინერგა ზღვის დინამიკის აღმწერ რიცხვით მოდელებზე დაფუძნებული, ზღვისა და ოკეანის ფიზიკური მდგომარეობის განმსაზღვრელი დაკვირვებისა და პროგნოზირების სისტემები. ბუნებრივია იგივე აქტივობები შეეხო შავ ზღვას, რომელშიც ამჟამად კოპერნიკის საზღვაო გარემოს მონიტორინგის სისტემა (CMEMS) ფუნქციონირებს უწყვეტად [1].

როგორც ცნობილია, ოპერატიულ რეჟიმში მოქმედი შავი ზღვის დინამიკის მოდელებში [1, 2] ადგილობრივი და სატელიტური ხელსაწყოებით გაზომილი მონაცემების ასიმილაცია ხდება სხვადასხვა ვარიაციული სქემების გამოყენებით. უნდა ითქვას, რომ ზღვის საწყისის მდგომარეობის შესაბამისი (ზღვის დინების, მარილიანობისა და ტემპერატურის ველების) 3-განზომილებიანი ციფრული მნიშვნელობების ინიციალიზაცია მოდელში დაკავშირებულია მთელ რიგ ტექნოლოგიურ სიძნელეებთან. ასეთ დროს რეალურთან ახლოს სიმულირებული შედეგების საწყის პირობად ინიციალიზაცია მოდელში შესაძლებლობას გვაძლევს განვიხილოთ და შევაფასოთ ზღვაში მიმდინარე პროცესების ცვლილებები ნებისმიერი დროითი ფანჯრით .

მოცემულ სტატიაში, ზღვის დინამიკის 3-განზომილებიანი აუზის მასშტაბის რიცხვითი მოდელის (ამ-რმ) [3] ბაზაზე, შევისწავლით შავი ზღვის ზედა ტურბულენტურ ფენაში ტემპერატურის ველის ცვლილებებს ერთწლიანი დროითი ინტერვალით – ორი სხვადასხვა საწყისი პირობების შესაბამისად. აღნიშნული მოდელი, ისევე როგორც მისი მაღალი გარჩევადობის რეგიონალური ოპერატიული ვერსია საქართველოსთვის [4], რომელიც ფუნქციონირებდა ევროპული პროექტების ფარგლებში

[2], შემუშავებულია ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდუას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტში (თბილისი, საქართველო).

კვლევის მიზანია გამოვავლინოთ საწყისი პირობების როლი რამდენად მნიშვნელოვნად აისახება სიმულირებულ სცენარებზე, მისი ინიციალიზაციის პირველ და მე-10 დღეს, რამდენადაც იგი სამომავლოდ განსაზღვრავს, მაღალი გარჩევადობის რეგიონალური მოდელის ბაზაზე, ერთთვიანი პროგნოზული სისტემის ფუნქციონირების პერსპექტივას. ამ მიზნით მოდელი ფუნქციონირებს 2 წლის განმავლობაში და მასში ინტეგრირების დასაწყისში საწყის პირობად ინიციალიზირებულია ზღვის მახასიათებელი პარამეტრების საშუალო წლიური კლიმატური სიმულირებული მონაცემები, ხოლო ერთი წლის მერე მოდელში საწყის პირობად ავტომატურად გამოიყენება ერთწლიანი ინტეგრებისას მიღებული დეკემბრის ბოლო დღის მონაცემები.

## 2. მოდელი, ამოხსნის მეთოდები და მასალები

შავი ზღვის ამ-რმ, რომელიც გაუმჯობესებულია ვერტიკალური ტურბულენტობის მდგრადი მოდელით [5], დაფუძნებულია ზღვისა და ოკეანის დინამიკის აღმწერ პრიმიტიულ განტოლებათა სრულ სისტემაზე ჰიდროსტატიკური მიახლოებით. მოდელში საწყისი და სასაზღვრო პირობები განისაზღვრება კოში-დირიხლე / ნეიმანის პირობებით. ბუნებრივია, მასში საწყისი პირობების რეალურთან მიახლოებული მნიშვნელობების გათვალისწინება არსებითად განსაზღვრავს სიმულირებული შედეგების სიახლოვეს რეალურთან.

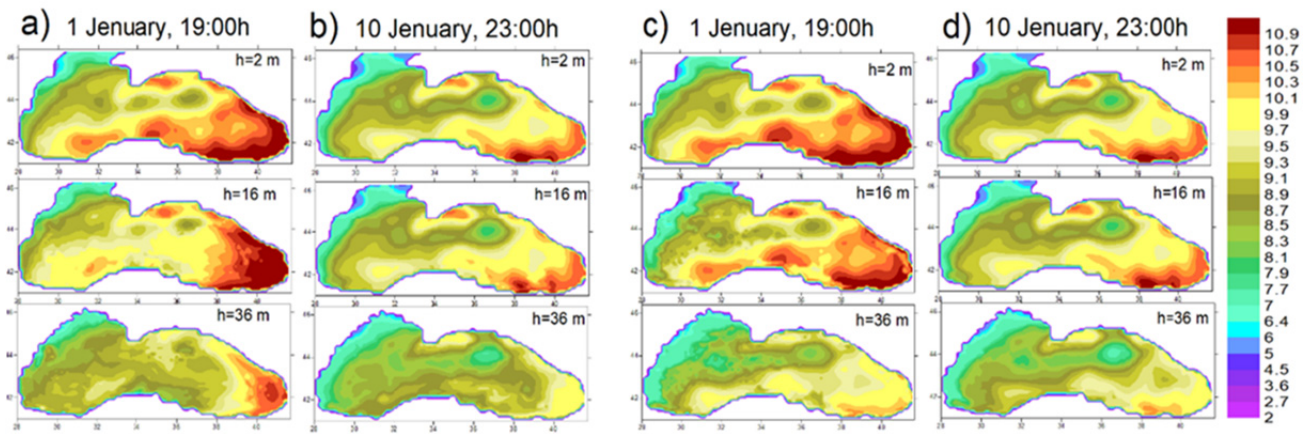
ინფორმაცია მოდელის განტოლებათა სისტემის ამოხსნის რიცხვით მეთოდებზე [6] და აგრეთვე კლიმატურ მონაცემებზე, რომელიც მიეკუთვნება მე-20 საუკუნის მეორე ნახევარს, ვრცლად მოცემულია წინა კვლევებში [3, 5]. მოდელის პროგრამული უზრუნველყოფა შემუშავებულია Visual Fortran V6.1-ბაზაზე, ხოლო მიღებული ციფრული მონაცემების დამუშავებისა და ვიზუალიზაციისთვის გამოიყენებულია Python 3.10 და “Surfer-8”-ის სისტემური გარემო.

## 3. რიცხვითი გამოკვლევის შედეგები

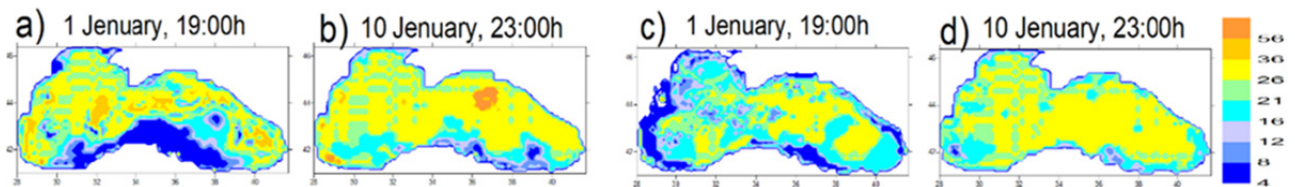
შავი ზღვის ტემპერატურის სიმულირებულ სცენარებზე საწყისი მნიშვნელობების გავლენის შეფასების მიზნით, ნახ. 1-ზე და ნახ. 2-ზე წარმოდგენილია ორივე პირობის მიხედვით სიმულირებული ტემპერატურის ველები და შერეული ტურბულენტური ფენის ჰორიზონტალური სიღრმეები, რომელიც გათვლილია იანვრის პირველი და მე-10 დღის შესაბამისად.

უნდა ითქვას, ზღვის ზედაპირი იანვრის პირველ და მე-10 დღეს, ერთწლიანი დროითი ინტერვალით, განიცდის ერთი და იმავე ჩრდილო-აღმოსავლეთის ზომიერი (5-10 მ/წმ) და ძლიერი (>20მ/წმ) ქარის ზემოქმედებას. ასევე, ორივე პირობის მიხედვით, უცვლელია ატმოსფერული – თერმოჰალინური ზემოქმედების განმსაზღვრელი კლიმატური მონაცემები და ზღვის მახასიათებელი პროფილების საშუალო თვიური რიცხვითი მნიშვნელობები.

აქ წარმოდგენილი შედეგების მიხედვით, ორივე პირობის შესაბამისად, იანვრის თვეში ცივი წყლის ადვექცია დაიკვირვება ზღვის ჩრდილო-დასვლეთ ზონიდან მის ცენტრალურ ნაწილში (იხ. ნახ. 1ა, ბ და ნახ.1ც, დ), მაშინ როცა ზღვის სამხრეთ-აღმოსავლეთ სანაპიროსთან ახლოს და საქართველოს საზღვაო რეგიონში თითქმის კავკასიის სანაპირომდე, ისევე როგორც სხვა კვლევებში [5, 7], თბილი წყლის აუზი ფიქსირდება. უფრო დეტალური ანალიზისას აშკარაა, რომ საწყისი პირობების როლი უფრო მნიშვნელოვანია იანვრის პირველ დღეს (იხ. ნახ.1ა და ნახ.1ც), რამდენადაც 16 მეტრიდან რადიკალურად განსხვავებული სტრუქტურა ფიქსირდება ტერმპერატურის ველებში. მე-10 დღეს კი ეს ცვლილება ვლინდება 36 მეტრიდან (იხ. ნახ.1ბ და ნახ.1დ). რაც შეეხება რაოდენობრივ სხვაობას, რომელიც არ აღემატებოდა 0.7 ცელსიუს იანვრის დასაწყისში, თანდათან მცირდება დინამიკაში.



**ნახ.1.** ზღვის ტემპერატურის სიმულირებული ველები მოდელის ინტეგრირების იანვრის პირველი დღის 19:00 საათზე -(ა) და მე-10 დღის 23:00 საათზე -(ბ), ხოლო იგივე ველები მეორე წლის იანვრის იმავე დროის მომენტში (ც) და (დ), შესაბამისად.



**ნახ. 2 .** შერეული ფენის სიღრმეების ჰორიზონტალური ველები -(ა), ( ბ) პირველი წლის იანვრის პირველ და მე-10 დღეს, ხოლო – (ც ) და (დ) მეორე წლის იანვრის იმავე დღეებში

მიღებული შედეგები უშუალოდ მეტყველებს იმაზე, რომ ზედაპირთან ახლოს 0-16 მეტრ სიღრმეზე, ზღვის ტემპერატურის ველში სასაზღვრო პირობების ზემოქმედება უფრო მნიშვნელოვანია, მაშინ როცა სიღრმის ზრდასთან ერთად თვალში საცემია საწყისი პირობების გავლენა. იგი მიუხედავად ტურბულენტობის გამომწვევი პირველადი ფაქტორებისა [8, 9], კიდევ უფრო მკვეთრად გამოკვეთილია შერეული ფენის სიღრმეების ჰორიზონტალურ ველებში, რომელიც ისევე როგორც წინა კვლევაში [5], ტემპერატურის კლასიკური კრიტერიუმით ( $0.2^{\circ}\text{C}$ ) განისაზღვრა. როგორც ცნობილია, ტურბულენტური შერევა მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს კლიმატის ცვლილებას, რადგან ოკეანის ზედა ფენიდან სითბო მიეწოდება ატმოსფეროს. აქ, ჩატარებული კვლევის დროს, განსაკუთრებით მეორე შემთხვევაში, ზღვის 0-36 მეტრ სიღრმეზე თვისობრივად შენარჩუნებულია შავი ზღვის ტემპერატურის ველისთვის დამახასიათებელი თავისებურება [10]. ასევე მიღებული შედეგი კარგ ჰარმონიაშია კოპერნიკის სერვისის 2021 წლის იანვრის მოდელურ მონაცემებთან, [https://data.marine.copernicus.eu/product/BLKSEA\\_ANALYSISFORECAST\\_PHY\\_007\\_001/description](https://data.marine.copernicus.eu/product/BLKSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_007_001/description).

#### 4. დასკვნა

მოცემული კვლევის მიხედვით ნათელია, რომ დინამიკაში საწყისი პირობების გავლენა ტემპერატურის ველზე, განსაკუთრებით ზედა ფენაში, შესამჩნევად მცირდება. ამავე დროს, დეკემბრისთვის მონაცემების ინსტალაცია მოდელში, რომელიც შინაარსობრივად უფრო მისაღებია, თავის მხრივ განსაზღვრავს შავი ზღვის ტემპერატურის ველის რეალურთან მიახლოებულ უკეთეს შედეგს.

კვლევა ჩატარდა საქართველოს შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის (SRNSFG) მხარდაჭერით (გრანტის ნომერი FR-22-365).

- [1] Jansen E., Azevedo D., Stefanizzi L., Causio S., Ilicak M., Ciliberti S., Gunduz M., Matreata M., Aydogdu A., Lima L., Peneva E., Masina S., Coppini G., Pinardi N. Black Sea Production Centre BLKSEA\_ANALYSIS\_FORECAST\_PHYS\_007\_001 // Copernicus Marine Environment Monitoring Service, Quality Information Document, 2021, 4, PP.35, <https://catalogue.marine.copernicus.eu/documents/QUID/CMEMS-BS-QUID-007-001.pdf>
- [2] Korotaev G.K, Oguz T., Dorofeyev V.L., Demyshev S.G., Kubryakov A.I, Ratner Yu. B., Development of Black Sea nowcasting and forecasting system. // Ocean Sci., 7, 2011, 629–649, <https://doi.org/10.5194/os-7-629-2011>
- [3] Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I., Surmava A. A., Numerical modeling of hydrophysical fields of the Black Sea under the conditions of alternation of atmospheric circulation processes. // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, Publishing, USA, 44 (2), 2008, pp. 213-224
- [4] Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Operational forecast of hydrophysical fields in the Georgian Black Sea coastal zone within the ECOOP. // Ocean Science, 7, 2011, pp. 793-803, <https://doi.org/10.5194/os-7-793-2011>
- [5] Kvaratskhelia D., Demetrashvili D., Elbakidze Kh., Sorriso-Valvo L., Turbulent mixing numerical study in the Black Sea basin using modified version of the Pacanovski-Philander formulation. // Bulletin TICMI, 25(1), 2021, pp. 3-19
- [6] Marchuk G. I., Numerical solution of the problems of the atmosphere and the ocean dynamics. // Gidrometeoizdat, Leningrad , 1974, 303 pp., (in Russian).
- [7] Ratner Yu. B., Korotaev G. K., Specific features of heat exchange between the Black Sea and the atmosphere in winter in 1971–1991. // Russian Meteorology and Hydrology, 42, 2017, pp. 503–509
- [8] Kara A. B., Helber R. W., Boyer T.P., Elsner J.B., Mixed layer depth in the Aegean, Marmara, Black and Azov Seas: Part I: General features. //Journal of Marine Systems, 78, 2009, S169-S180, <https://www7320.nrlssc.navy.mil/pubs/2009/helber2-2009.pdf>
- [9] Stanev E. V., Chtirkova B. Interannual Change in Mode Waters: Case of the Black Sea. //Journal of Geophysical Research; Oceans , 126(2), 2021, pp. 20. <https://doi.org/10.1029/2020JC016429>
- [10] Miladinova S., Stips A., Garcia-Gorriz E., Macias Moy D. Black Sea thermohaline properties: Long- term trends and variations. // Journal of Geophysical Research; Oceans Journal of AGU Publication, 122(7), 2017, pp. 5624-5644, <https://doi.org/10.1002/2016JC012644>

## NUMERICAL INVESTIGATION OF SENSITIVITY OF THE TEMPERATURE FIELD TO INITIAL CONDITIONS IN THE UPPER TURBULENT LAYER OF THE BLACK SEA USING THE NUMERICAL MODEL OF THE SEA DYNAMICS

**Kvaratskhelia D., Demetrashvili D.**

***Abstract.** In this paper, our goal is to investigate of the upper turbulent layer temperature field sensitivity on the initial conditions variability using a 3-dimensional basin-scale numerical model of sea dynamics. For this purpose, the model operates for 2 years. At the initial stage, the average annual simulated data of the sea characteristics are initialized in it, but after one year, the data of the last day of December obtained during one-year integration are used as the initial condition, automatically .*

*As the numerical studies on the example of the January showed, in the temperature field the role of initial conditions is reduced noticeably in dynamics. At the same time, the December data automatic consideration in the model, which is distinguished by seasonal features significantly increases proximity of the temperature field to the Copernicus Naval Service datas.*

**Key words:** Initial condition, Primitive Equations System, Numerical Modeling, Turbulent Layer

## მონიტორინგისა და მოკლევადიანი პროგნოზის სისტემები ევროპის ზღვებისათვის

დემეტრაშვილი დ.

ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის  
მ. ნოდუას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

**ანოტაცია.** სტატიაში მოკლედ განიხილება ევროპის ზოგიერთი ზღვის მონიტორინგისა და პროგნოზის სისტემა, რომლებიც დაფუძნებულია ოკეანის დინამიკის თანამედროვე რიცხვითი მოდელების გამოყენებაზე. მნიშვნელოვანი ყურადღება გამახვილებულია შავი ზღვის მონიტორინგისა და პროგნოზის სისტემაზე, რომლის ერთ-ერთი კომპონენტია მაღალი გარჩევისუნარიანი რეგიონული პროგნოზის სისტემა შავი ზღვის საქართველოს სექტორისა და მიმდებარე აკვატორიისათვის. პროგნოზის სისტემის ბირთვია მ. ნოდუას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შავი ზღვის დინამიკის ბაროკლინური მოდელი. მოყვანილია გამოთვლების ზოგიერთი შედეგი.

**საკვანძო სიტყვები:** პროგნოზის სისტემა, ხმელთაშუა ზღვა, განტოლებათა სისტემა, დინების ველი.

გასული საუკუნის 90-იანი წლებიდან ფიზიკური ოკეანოგრაფია შევიდა თავისი განვითარების ახალ ეტაპში, განვითარდა ახალი ქვემომართულება – ოპერატიული ოკეანოგრაფია, რომლის ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანაა საზღვაო მონიტორინგისა და პროგნოზის სისტემების შემუშავება მსოფლიო ოკეანის ცალკეული რეგიონებისათვის. პროგნოზული სისტემები უზრუნველყოფენ ძირითადი სამგანზომილებიანი ჰიდროფიზიკური ველების – დინების, ტემპერატურის, მარილიანობის, ზღვის დონის და სხვა პარამეტრების მოკლევადიან პროგნოზს. თანამედროვე პირობებში, როდესაც ძალზედ გააქტიურებულია საზოგადოების სამეურნეო საქმიანობა, ასეთი ინფორმაციის არსებობა მნიშვნელოვანი ფაქტორია ბუნებრივი რესურსების რაციონალური ათვისებისა და სამეურნეო საქმიანობის ოპტიმალურად წარმართვისათვის. საზღვაო პროგნოზული სისტემის ფუნქციონირება განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ზღვის სანაპირო/შელფური ზონებისათვის, სადაც ინტენსიურად მიმდინარეობს ადამიანთა ეკონომიკური საქმიანობა, აქ მდებარეობს საზღვაო პორტები, რეკრეაციული ზონები, ვითარდება სანაპირო ინფრასტრუქტურა [1, 2].

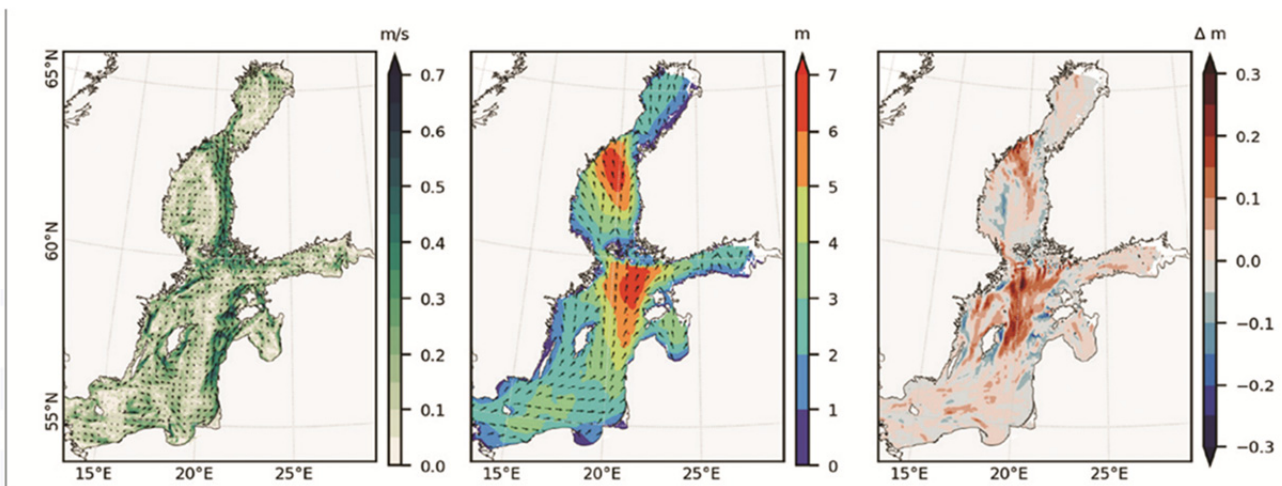
ბოლო 2-3 ათეულ წელიწადში გამოთვლითი ტექნიკის პროგრესმა და მასთან დაკავშირებული მაღალი გარჩევისუნარიანი ზღვის ჰიდროდინამიკის თანამედროვე რიცხვითი მოდელების შემუშავებამ, დისტანციური ზონდირებისა და კონტაქტურ დაკვირვებათა სისტემების სრულყოფამ, დაკვირვების მონაცემთა ასიმილაციის მეთოდების განვითარებამ დიდი ბიძგი მისცა ევროპის ცალკეული ზღვებისათვის მონიტორინგისა და პროგნოზის სისტემების შემუშავებას [3-5]. საზღვაო პროგნოზული სისტემების ძირითადი ბირთვია ოკეანის ჰიდროდინამიკის თანამედროვე რიცხვითი მოდელები, რომლებიც დაფუძნებულია ფიზიკურად სრულ არანრფივ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემებზე და უნარი აქვთ ადეკვატურად ასახონ რეალური პროცესები. ამასთანავე, ჰიდროფიზიკური ველების საწყისი მდგომარეობის დაზუსტება ხორციელდება ნატურალურ დაკვირვებათა მონაცემების ასიმილაციის გზით. მოკლედ მიმოვიხილოთ ზოგიერთი მათგანი.

გასული საუკუნის 90-იან წლებში ოპერატიულ რეჟიმში ფუნქციონირება დაიწყო ხმელთაშუა ზღვის პროგნოზის სისტემამ (MFS – Mediterranean Forecasting System), რომელიც შემუშავებული იყო ევროკავშირის VI და VII პროგრამის ჩარჩოებში და უზრუნველყოფს მოკლევადიან საზღვაო პროგ-



ნოზს მთელი აუზის მასშტაბით [3]. პროგნოზის სისტემა დაფუძნებულია შეწყვილებულ ჰიდროდინამიკურ-ტალღურ მოდელზე მონაცემთა ასიმილაციის გათვალისწინებით. ზღვის ზედაპირი მოდელირებულია თავისუფალი ზედაპირის სახით, ხოლო მოდელის სათვლელი ბადის გარჩევისუნარიანობაა დაახლოებით 6-7 კმ. ვერტიკალზე აღებულია 72 დონე არაერთგვაროვანი ბიჯებით. ჰიდროდინამიკური ბლოკის სახით გამოიყენება ცნობილი ოკეანის მოდელი NEMO (<https://www.nemo-ocean.eu>) ხოლო ტალღური კომპონენტისათვის WaveWatch-III (<https://polar.ncep.noaa.gov/waves/index2.shtml>).

ბალტიის მონიტორინგის პროგნოზის ცენტრის (BAL MFC) მიერ, რომელიც არის კოპერნიკის ზღვის გარემოს მონიტორინგის სერვისის (The Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)) ნაწილი, ბალტიის ზღვისათვის შემუშავებულია შეწყვილებული (coupled) მოდელირების სისტემა ოპერატიული გამოყენებისათვის [4]. სისტემა ოთხი კომპონენტისაგან შედგება; ოკეანის ცირკულაციის მოდელის NEMO-ს გაუმჯობესებული ვერსია, ბიოგეოქიმიური მოდელი (ERCOM), ქარისმიერი ტალღების მოდელი (WAM) და მონაცემთა ასიმილაციის სისტემა. მოდელირების სისტემის რეალიზაცია მთლიანად ბალტიის ზღვის აუზისათვის ხორციელდება  $\approx 1,85$  კმ ჰორიზონტალური გარჩევისუნარიანობით, ხოლო პროგნოზის გამოთვლა 6 დღის წინსწრებით. ბალტიის მონიტორინგისა და პროგნოზის ცენტრის მთავარი მიზანია უზრუნველყოს მომხმარებელი ფიზიკური და ბიოგეოქიმიური პარამეტრებით. მოდელირების სისტემის გამოყენებამ ოპერატიულ რეჟიმში აჩვენა გამოთვლილი პროგნოზების კარგი სიზუსტე. შესაძლებელია მოდელირების სისტემის შემდგომი განვითარება სხვადასხვა კომპონენტების ჩართვის გზით.

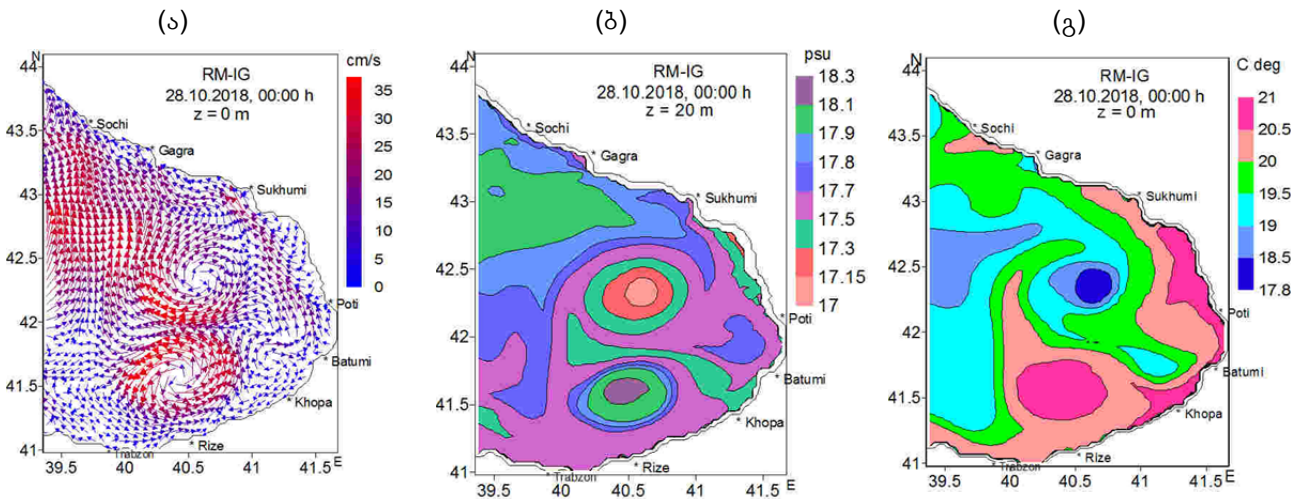


**ნახ.1. დინების ველი (მარცხენა პანელი), ტალღების სიმაღლე დინების გათვალისწინების გარეშე (შუა პანელი) და დინების გათვალისწინებით (მარჯვენა პანელი) 2017 წლის 12 იანვარს ტოინის შტორმის დროს (storm Toini) [4].**

ტალღური მოდელი გაუმჯობესდა ზედაპირული დინებისა და ყინულის კონცენტრაციის გათვალისწინებით, რამაც შესაძლებელი გახადა ყინულის მდგომარეობის ცვლილების გათვალისწინება პროგნოზული დროითი ინტერვალის განმავლობაში. ნახ.1-ზე წარმოდგენილია [4]-ში მოყვანილი დინებისა და ტალღის სიმაღლეების განაწილების ველი ქარიშხალ ტოინის (Storm Toini) დროს.

შავი ზღვის ოპერატიული ოკეანოგრაფიის დიდი მიღწევაა ევროკავშირის სამეცნიერო-ტექნიკური პროექტების ARENA (2003-2006) და ECOOP(2007-2010) ფარგლებში შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემის შემუშავება, რომელმაც ოპერატიულ რეჟიმში ფუნქციონირება დაიწყო 2010 წლიდან [5]. სისტემის ძირითადი კომპონენტები იყო ატმოსფეროს დინამიკის მოდელი ALADIN ან SCIRON, ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტის (ქ. სევასტოპოლი, უკრაინა) ზღვის აუზის მასშტაბის შავი ზღვის დინამიკის რიცხვითი მოდელი 5 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით და მის სათვლელ ბადეში ჩადგმული სანაპირო დინამიკის მაღალი გარჩევისუნარიანი რიცხვითი მოდელები, მათ შორის მ. ნოდინას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელი 1 კმ

გარჩევისუნარიანობით [5, 6]. რეგიონული მოდელი ძირითადი კომპონენტია რეგიონული პროგნოზის სისტემისა. რეგიონულ მოდელს საფუძვლად უდევს დეკარტის მართკუთხოვან კოორდინატთა სისტემაში ჩანერილი ოკეანის ჰიდროთერმოდინამიკურ განტოლებათა სრული სისტემა ჰიდროსტატიკურ და უკუმშვადი სითხის მიახლოებაში, რომლის ამოხსნა განხორციელებულია დიფერენციალურ განტოლებათა ამოხსნის სასრულ-სხვაობითი მეთოდით, კერძოდ, გახლეჩის ორციკლიანი მეთოდით ფიზიკური პროცესების, ვერტიკალური საკოორდინატო სიბრტყეებისა და კოორდინატების მიხედვით [7]. მოდელში შემავალი რეალური მონაცემების პირობებში რეგიონული პროგნოზის სისტემა საშუალებას იძლევა გამოვთვალოთ დინების, ტემპერატურისა და მარილიანობის სამგანზომილებიანი ველების პროგნოზი 72 სთ წინსწრებით შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში. საზღვაო პროგნოზის გათვლისათვის საჭირო მონაცემთა მასივები ყოველდღიურად მიიღებოდა ინტერნეტის საშუალებით ოპერატიულთან მიახლოებულ რეჟიმში დაწყებული 2010 წლიდან 2021 წლის ჩათვლით, რაც გათვალისწინებული იყო ზემოთ აღნიშნული ევროკავშირის პროექტების ფარგლებში. ტექნიკური მიზეზების გამო 2021 წლის შემდეგ მონაცემთა მიღება შეწყდა. მრავალრიცხოვანმა გამოთვლებმა რეალური მონაცემების გათვალისწინებით აჩვენა, რომ შავი ზღვის სამხრეთ-აღმოსავლეთი აკვატორია ჰიდროდინამიკის თვალსაზრისით ძალზედ აქტიური რეგიონია, რომელიც ხასიათება მეზომასშტაბური და სუბმეზომასშტაბური გრიგალური სტრუქტურების უწყვეტი ფორმირებითა და ევოლუციით [8, 9].



**ნახ.2. (ა) – ზედაპირული დინების, (ბ) – მარილიანობის (z = 20 მ ჰორიზონტზე) და (გ) -ზღვ პროგნოზული ველები 2018 წ. 28 ოქტომბერს, 00:00 GMT, 72 სთ შემდეგ პროგნოზის საწყისი მომენტიდან. (პროგნოზული ინტერვალი: 00:00 GMT, 25-29 ოქტომბერი 2018 წ.**

ილუსტრაციის მიზნით ნახ. 2-ზე ნაჩვენებია დინების, მარილიანობისა და ზღვის ზედაპირის ტემპერატურის (ზზტ) პროგნოზული ველები 2018 წლის 28 ოქტომბერს, t = 72 სთ შემდეგ პროგნოზის საწყისი მომენტიდან. ნახ. 2ა-ზე კარგად დაიკვირვება დიპოლური სტრუქტურის „ციკლონი-ანტიციკლონი“ ფორმირება აღნიშნულ დღეს. ნახ. 2ბ-დან ასევე კარგად ჩანს, რომ მარილიანობის ველი კარგ კორელაციაშია დინების ველთან, რომელიც განაპირობებს შედარებით დაბალი მარილიანობის წყლებს ანტიციკლონური გრიგალის ცენტრალურ ნაწილში, ხოლო ციკლონური გრიგალის არეალში – მაღალ მარილიანობას.

ამჟამად, ჩვენ ვატარებთ სამუშაოებს, რომლებიც დაკავშირებულია არსებული საზღვაო რეგიონული პროგნოზის შემდგომ განვითარებასთან და სრულყოფასთან ძალიან მაღალი სივრცითი გარჩევისუნარიანი ქვესისტემის შემუშავების მიზნით ბათუმი-ფოთი-ანაკლიის მიმდებარე აკვატორიისათვის.

**მადლიერება.** კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით [გრანტის ნომერი FR-22-365].

## ლიტერატურა

- [1] Marchuk G. I., Paton B. E., Korotaev G. K., Zalesny V. B. Data-computing technologies: a new stage in the development of operational oceanography. // Izv. RAS, Atmospheric and Oceanic Physics, v.49, № 6, 2013, pp. 579-591.
- [2] Towards operational oceanography: The Global Ocean Observing System (GOOS). // GOOS report-16 IOC/INF-1028 Paris, 26 April 1996, 14 p.
- [3] Pinardi N., Allen I., Demirov E., De Mey P., Korres G., Lascaratos A., Le traon P. Y., Maillard C., Manzella G., Tziavos C. The Mediterranean ocean forecasting system: first phase of implementation (1998-2001). // Annales Geophysicae, 21, 2003, pp.3-20.
- [4] Nord A., Karna T., Lindethal A., Ljungenyr P., Maljutenko I., Falahat S., Ringgoard I. M., Korabel V., at al. New coupled forecasting system for the Baltic Sea area. // 9<sup>th</sup> EuroGOOS International conference, Shom; Ifremer; EuroGOOS AISBL, May 2021, Brest, France, hal-03328374v1.
- [5] Kubryakov A. I., Korotaev G. K., Dorofeev V. I., Ratner V. B., Palazov A., Valchev N., Malciu V., Matescu R., Oguz T. Black Sea coastal forecasting system. // Ocean Science, 8, 2012, pp.183-196.
- [6] Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Operational forecast of hydrophysical fields in the Georgian Black Sea coastal zone within the ECOOP. // Ocean Science, 7, 2011, pp. 793-803.
- [7] Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. // Ленинград, Гидрометеиздат, 1974, 303 с.
- [8] Demetrashvili D., Kukhalashvili V., Kvaratskhelia D. Numerical study of some peculiarities of hydrological mode for the southeastern part of the Black Sea (2010-2021). // Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences. v.16, №4, 2022, pp. 47-53.
- [9] Demetrashvili D., Kukhalashvili V., Kvaratskhelia D. Modeling and forecasting of mesoscale circulation and oil pollution transport in the southeastern Black Sea. // Journal of Environmental Protection and Ecology, v. 25, No 1, 2024, pp. 42–52.

## Monitoring and Short-Term Forecasting Systems for European Seas

Demetrashvili D.

***Abstract.** The article briefly reviews some European marine monitoring and forecasting systems based on the use of modern numerical models of ocean dynamics. Significant attention is focused on the Black Sea monitoring and forecasting system, one of the components of which is a high-resolution regional forecasting system for the Georgian sector of the Black Sea and the surrounding water area. The core of the regional forecasting system is the baroclinic model of the Black Sea dynamics of M. Nodia Institute of Geophysics. Some calculation results are given.*

***Key words:** forecasting system, Mediterranean Sea, system of equations, flow field.*

## DROUGHT EVALUATION IN GEORGIA USING SPI AND SpEI INDICES

Tatishvili M., Kapanadze N., Mkurnalidze I., Palavandishvili A.

*Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University, Georgia  
m.tatishvili@gtu.ge*

**Abstract.** Drought is a frequent phenomenon in Georgia. Its frequency in some areas exceeded 40% in the 80-ies of the last century by certain early estimates. As a result of frequent droughts accompanying the global warming in past decades transformation of many types of natural landscapes has been observed. In study Pearson correlation coefficient (PCC), determination coefficient ( $R^2$ ), and root mean square error (RMSE) criteria, which are among the strong statistical criteria, were used. In order to compare drought indices, scatter diagrams of indices were drawn and statistically evaluated. For this,  $R^2$  and the RSME were used. Correlation between data sets is a measure of how well they are related. SPEI/SPI indices reflect complex mosaic character of Georgian climate change.

**Key words.** Drought indices, Pearson correlation, climate change Nature Based Solutions.

### Introduction

Economic and other losses from natural disasters are increasing throughout the world. According to the International Disaster Database (EM-DAT), over the last 70 years, hydro-meteorological disasters have shown the fastest rate of increase of all disaster types. In parallel, technological capabilities to manage such disasters have advanced rapidly.

Hydro-meteorological hazards such as severe floods, storm surges, landslides, avalanches, hail, wind-storms, droughts, etc. are expected become more frequent and severe due to climate change, degradation of ecosystems, population growth and urbanization [1,9]. Drought is a climatic event that cannot be prevented, but interventions and preparedness to drought can help to: (i) be better prepared to cope with drought; (ii) develop more resilient ecosystems (iii) improve resilience to recover from drought; and (iv) mitigate the impacts of droughts. Preparedness strategies to drought include: (a) geographical shifts of agricultural systems; (b) climate-proofing rainfall-based systems; (c) making irrigated systems more efficient; (d) expanding the intermediate rainfed-irrigated systems [2,3].

Using these statistical indicators, one can characterize the timing, frequency, intensity, duration and types of droughts which are helpful for planning, designing and maintenance of NBS for droughts (e.g. soil and water conservation measures, water harvesting ponds). Measures: Increasing soil infiltration, potentially reducing surface runoff, by free-draining soil, planting floodplain or riverside woods, reducing water flow connectivity by interrupting surface flows, by planting buffer strips of grass and trees. Seeding of deep rooting plants, enhancement of biodiversity, filtration strategies to reduce eutrophication and preserve water quality. Promote practices to reduce water usage, promoting alternative crops.

Below are listed various drought indices that are used worldwide [4].

**Snowpack extent and snow water equivalent (SWE)** are other important variables in Northern Europe and in **mountainous regions**. Snow contributes to water availability over the year also over far away wide regions that draw water from snow reservoirs.

Drought indicators based on **soil water content**, such as the Drought Observatories Soil Moisture Index Anomaly (SMA), the Drought Severity Index (DSI), or the Palmer Drought Severity Index (PDSI), aim to characterize the risks of plant water stress.

Indicators of **hydrological drought**, such as the European Drought Observatories Low-Flow Index (**LFI**), are usually based on threshold approaches to quantify the volume of water deficit in rivers and reservoirs.

**Combined indicators** blend several physical indicators into one high-level indicator of hazard (e.g., European Drought Observatories Combined Drought Indicator).

- **Soil Moisture Anomaly (SMA)**: This indicator measures anomalies of daily soil moisture (water) content, and is used to estimate agricultural drought conditions.
- **Anomaly of Vegetation Condition (FAPAR Anomaly)**: This indicator quantifies anomalies of satellite measured FAPAR (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation) and is used to highlight areas of relative vegetation stress due to drought.
- **Low-Flow Index (LFI, only available for Europe)**: This indicator is used for near real-time monitoring of hydrological streamflow drought at European scale. LFI is derived from daily river discharge outputs produced by the JRC hydrological rainfall-runoff model (LISFLOOD) within the Copernicus EMS European Flood Awareness System. The indicator is useful to monitor hydrological drought.
- **Heat and Cold Wave Index (HCWI)**: This indicator is used to detect and characterize positive and negative extreme temperature anomalies (heatwaves as well as warm and cold spells) and is based on daily minimum and maximum temperatures.
- **Combined Drought Indicator (CDI; only for Europe)**: This indicator integrates information on anomalies of precipitation, soil moisture and satellite-measured vegetation conditions, into a discrete classification index. CDI is used to monitor the onset of agricultural drought, its evolution in time and space, and the recovery phase.
- **Risk of Drought Impact for Agriculture (RDrI-Agri; only on Global Drought Observatory)**: This is a categorized risk index, indicating the probability of having impacts from drought, with particular focus on vegetation. The RDrI-Agri combines hazard, exposure (in terms of total population, livelihood and assets), vulnerability (i.e., the propensity of exposed elements to suffer adverse drought-induced effects). The hazard is expressed as the combination of precipitation anomaly (SPI), anomaly of photosynthetic activity (fAPAR) and soil moisture anomalies.
- **Indicator for Forecasting Unusually Wet and Dry Conditions**: This indicator provides an early warning of unusually wet and dry cumulative periods forecasted over the next 1-, 3-, and 6-months in Europe (EDO) and the world (GDO). The indicator is derived from the statistical analysis of predicted Standardized Precipitation Index values (SPI-1, SPI-3, and SPI-6), calculated from the forecast of precipitation given by the ECMWF seasonal forecasting system (SEAS5). Only regions where an unusual wet or dry period (i.e., meeting a threshold SPI value) is forecasted with sufficient robustness (i.e., 40% of forecast members meet the threshold) are indicated. Levels of the indicator correspond to the return period of the forecast intensity and coherence.
- The **short-term MIDI** combines the Palmer Drought Severity Index (PDSI), Z-Index, 1-month Standardized Precipitation Index (SPI), and 3-month SPI to approximate drought impacts from changes in precipitation and moisture over a **short-term timeframe**.

The **long-term MIDI** combines PDSI, Z-Index, and 6-month, 1-year, 2-year, and 5-year SPI to approximate drought impacts from changes in precipitation and moisture over a **long-term timeframe**.

## Data and method

The standardized indices SPI and SPEI classify the precipitation and water balance anomalies with respect to the long term records. The index values directly indicate how frequent the current situation is expected to occur at the location and season of interest given the long term observations. The SPI (standardized precipitation index) classifies the precipitation sums on a particular date with respect to the sums of the same month in all years of the measurement record [5,6]. For this purpose, the precipitation sums of the whole record within one month around the respective date are transformed into a standard normal



distribution around zero. The SPI is nothing else than these transformed precipitation sums. The SPI value hence directly indicates the frequency of the observed precipitation amount in the corresponding month as estimated from the whole observation record. The SPEI (standardized precipitation evapotranspiration index) is calculated in analogy to the SPI, using the cumulative water balance instead of precipitation sums. The SPEI hence represents the standard-normal distributed water balance.

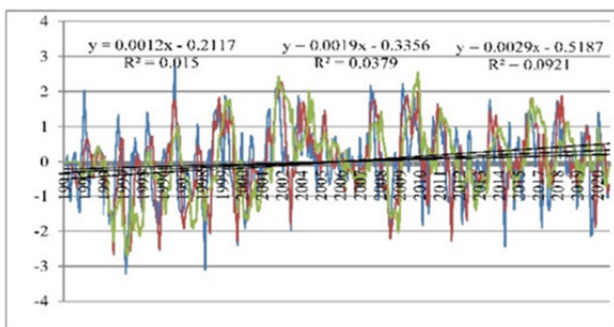
The 1991-2020 year period meteorological observation data of the stations, that had continuous and homogenous series have been used.

AS it is evident from Table 1 correlation coefficient is high between inter-station all draught indices and is low between different stations. That can be explained by station elevation and heterogeneous type of precipitation. Thus draught indices are depended on site elevation and parameters involved in calculation, namely precipitation.

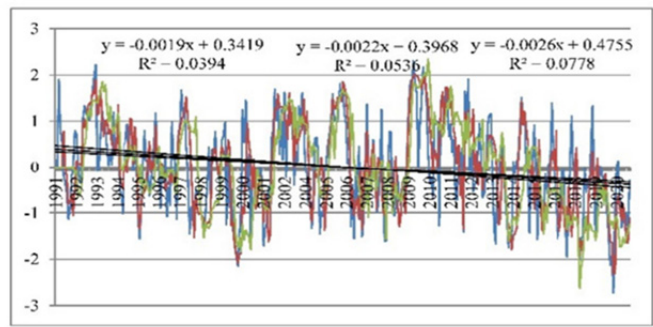
Draught indices of all stations for research 1991-2020 period are presented on charts (Fig.1-3).

**Table 1. Inter and between stations Pearson correlation of draught SPEI-SPI (3,6,12 months) indices of for 1991-2020 period'**

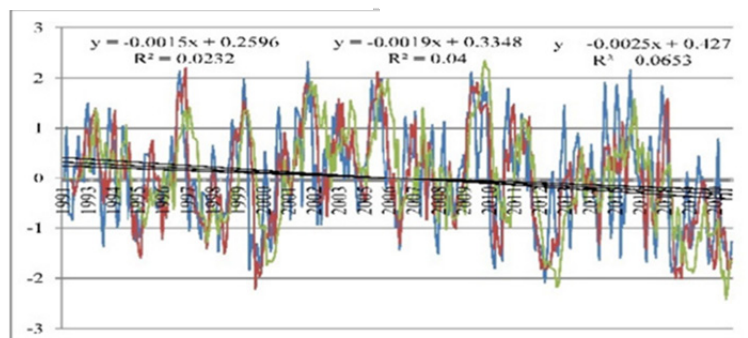
Station	Elev. (m)	Pearson SPI3-SPEI3	Pearson SPI6-SPEI6	Pearson SPI12-SPEI12	Station	Elev. (m)	Pearson SPI3-SPEI3	Pearson SPI6-SPEI6	Pearson SPI12-SPEI12
Telavi	586	0.951749	0.943172	0.928499	Tbilisi	431	0.925437	0.903093	0.873974
Akhaltsikhe	989	0.921328	0.900248	0.866863	Telavi/Gori		0.475601	0.484241	0.53356
Ambrolauri	544	0.960683	0.956609	0.960253	Akhaltsikhe/Mta-Sabueti		0.509075	0.492155	0.503413
Gori	602	0.898262	0.867283	0.808437	Tbilisi/Kutaisi		0.314346	0.337496	0.443787
Mta-Sabueti		0.977971	0.980275	0.979545	Tbilisi/Mta-Sabueti		0.300097	0.314582	0.433386
Pasanauri	1070	0.97667	0.965895	0.944941	Bolnisi/Pasanauri		0.242862	0.157741	0.262271
Poti	1	0.982357	0.986272	0.987388	Tbilisi/Akhaltsikhe		0.430081	0.389833	0.433268
Kutaisi	113	0.980448	0.977414	0.978158					



**Fig.1. Akhaltsikhe SPI3,6,12 (blue, red, green) draught indices.**



**Fig. 2. Tbilisi SPEI3, (blue ) 6 (orange), 12 (green) draught indices.**



**Fig.3. Gori draught SPEI3 (blue),6(red),12(green) indices.**

## Discussion

In study Pearson correlation coefficient (PCC), determination coefficient ( $R^2$ ), and root mean square error (RMSE) criteria, which are among the strong statistical criteria, were used.  $R^2$  ranges from 0 to 1, with higher values indicating less error variance. The **RMSE** is the square root of the variance of the residuals. It indicates the absolute fit of two data set and lower the RMSE the better performance is [7,8].

In order to compare drought indices, scatter diagrams of indices were drawn and statistically evaluated. For this,  $R^2$  and the RSME were used. Correlation between data sets is a measure of how well they are related. The most common measure of correlation in stats is the Pearson Correlation. It shows the linear relationship between two sets of data (3month) PCC, which shows linear relationship between SPI-SPEI is quite high, while in cases of SPI-EDI, especially for Dedoplistskaro, Gori and Telavi and SPEI-EDI, Dedoplistskaro, Telavi is low.

RMSE (SPI-SPEI) is low especially for Khashuri and Telavi; (12month) PCC for SPI-SPEI is high  $R^2$  is low for all stations. RMSE (SPI-SPEI) is low which means perfect fitting (Tab.1). The strongest relationship was observed among the indices in the same time periods. As time lag increases, the relationship between variables has been weakened.

It's interesting to count drought and wet day ratio at each stations. For Akhaltsikhe point wet day number exceeds drought one, severe drought day is approximately 3 and moderate- 50. At Gori station wet day number slightly exceeds drought day number, severe drought day equals 1 and moderate-60. At Telavi point drought day number greatly exceeds wet day number, severe drought day equals 5 and moderate-58. At Tbilisi point drought day number exceeds wet day one; severe drought day is 4 and moderate-62. At Kutaisi station wet day number exceeds drought one, severe drought day is 5 and moderate-55. At Mta-Sabueti both day types are approximately equal, severe drought day is 5 and moderate-54.

## Conclusions

The drought indices are good indicators for climate change, as involved temperature and humidity variations. At selected research period 1991-2020 the drought SPEI, SPI indices for different stations show various tendencies. For this short time scale the slope of the trend lines are generally lower. The SPEI3 large fluctuations indicate on its sensitivity towards short-time precipitation and SPEI6 is sensitive to wet-dry periods fluctuation. The drought indices behavior is as follows: At Akhaltsikhe station all SPEI indices don't show any decreasing/increasing tendency while all SPI ones are increasing. At Ambrolauri both SPEI/SPI indices show decreasing tendency. For Bolnisi SPEI are decreasing while SPI-increased, at Pasanauri both SPEI/SPI are decreasing, at Gori SPEI indices decreased while SPI has increasing tendency, at Mta-Sabueti both SEI/SPI are increasing. For Poti station SPEI3 and 6 decreased while SPEI 12 increased as all SPI indices, which indicate on precipitation decreasing. For Kutaisi all drought indices are decreasing. At Tbilisi location except SPI6 and SPI12 all indices are decreasing that indicate that monthly precipitation are decreasing, while water vapor evaporation increased. At Telavi station all SPEI indices have decreasing tendency and SPI indices increasing, that indicates on precipitation amount increasing. Thus SPEI/SPI indices reflect complex mosaic character of Georgian climate change.

## References

- [1] Tatishvili M., Elizbarashvili E., Meskhia R., Elizbarashvili Sh. Natural Hydrometeorological Disasters, Their Causes and Prevention Measures. The Macrotheme Review. // A Multidisciplinary Journal of Global Macro Trends. A Macrotheme Capital Management. LLC Academic Publication, ISSN 1848-4735, v. 2, iss.1, Winter 2013 (January), France, pp. 148-154.
- [2] Tatishvili M. Developing Weather Forecasting System in Georgia. // Ecology & Environmental Sciences, 2 (7), 2017, DOI:10.15406/mojes. 2017.02.00046.



- [3] Tatishvili M. R., Megrelidze L. D., Palavandishvili A. M. Study of the Mean and Extreme Values, Intensity and Recurrence Variability of Meteorological Elements Based on the 1956-2015 Observation Data. // Journals of Georgian Geophysical Society, 24(2), 2021. <https://doi.org/10.48614/ggs2420213325>
- [4] Palavandishvili A. Evaluation of natural disasters using machine learning and big data for Georgia. // Int. Conf. of Young Scientists "Modern Problems of Earth Sciences". Proceedings, ISBN 978-9941-36-044-2, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, November 21-22, 2022, pp. 111-115. <http://openlibrary.ge/handle/123456789/10263>
- [5] Tatishvili M., Palavandishvili A., Tsitsagi M., Gulashvili Z., Suknidze N. Drought Evaluation Based on Spei, Spi Indices for Georgian Territory. // Int. Conf. of Young Scientists "Modern Problems of Earth Sciences", Proceedings, ISBN 978-9941-36-044-2, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, November 21-22, 2022, pp. 119-121.
- [6] Tatishvili M., Palavandishvili A., Tsitsagi M., Suknidze N. The Big data for drought monitoring in Georgia. // Springer Nature ISBN978-3-031-45600-8. Chances and Challenges of Digital Management. ISPC 2022. Springer Proceedings in Business and Economics. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-45601-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-031-45601-5_13)
- [7] Tatishvili M.R., Palavandishvili A.M., Tsitsagi M. B., Suknidze N. E. The Use of Structured Data for Drought Evaluation in Georgia. Journals of Georgian Geophysical Society, vol. 25, No.1, 2022. <https://doi.org/10.48614/ggs2520224806>
- [8] Tsitsagi M., Gulashvili Z., Bolashvili N., Tatishvili M., Suknidze N. Relationship Between Normalized Difference Vegetation Index, Precipitation and Drought Indices (Case of Kakheti, Georgia). // 22nd International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2022. <https://doi.org/10.5593/sgem2022/4.1/s19.46>
- [9] Kartvelishvili L., Tatishvili M., Amiranashvili A., Megrelidze L., Kutaladze N. Weather, Climate and their Change Regularities for the Conditions of Georgia. // Monograph, Publishing House "UNIVERSAL", Tbilisi 2023, 406 p., <https://doi.org/10.52340/mng.9789941334658>

## STATISTICAL ANALYSIS OF THE WEEKLY FIRE ALERTS COUNT IN GEORGIA AND ITS REGIONS IN 2012-2023

**Bliadze T.**

*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia  
teimuraz.bliadze@gmail.com*

**Abstract:** Results of a statistical analysis of the weekly fire alerts count (FAC) in Georgia and its regions for 2012-2023 are presented. In particular, the following results were obtained. The highest average annual FAC value is recorded in Kakheti (858), the lowest – in Tbilisi (14). In Georgia as a whole, the average annual FAC value is 2739. The intra-annual distribution of weekly FAC values for Georgia and its regions was studied. The degree of linear correlation relationships between regions of Georgia on the weekly fire alerts count has been determined.

**Key Words:** Fire, fire alert.

### Introduction

The problem of fires, especially against the background of climate change, is relevant for many countries of the world, including Georgia [1, 2]. In Georgia, work on determining the Angstrom fire index was carried out for the cities of Tbilisi, Kutaisi and Telavi [3-6]. In work [7], a comparative analysis of the Angstrom fire index was carried out for Telavi and Nalchik, and in work [8] – for Tbilisi and Kislovodsk. In work [9], the results of a statistical analysis of daily and monthly values of the total number of fire alarms in Georgia for 2012-2020 are presented.

This study is a continuation of previous works. Results of a statistical analysis of the weekly fire alerts count in Georgia and its regions for 2012-2023 are presented below.

### Study area, material and methods

Study area is Georgia and its regions. The following abbreviations are used below: Abkhazeti (Abkh); Adjara (Adj); Guria (Gur); Imereti (Im); Kakheti (Kakh); Kvemo Kartli (KK); Mtskheta-Mtianeti (M-M); Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti (R-L KS); Samegrelo-Zemo Svaneti (S-ZS); Samtskhe-Javakheti (S-J); Shida Kartli (Sh K); Tbilisi (Tb); Georgia (Geo).

Data of the about the weekly fire alerts count (FAC) in period 2012-2023 are used [<https://www.global-forestwatch.org/dashboards/country/GEO>]. W1...W53 – numbers of week.

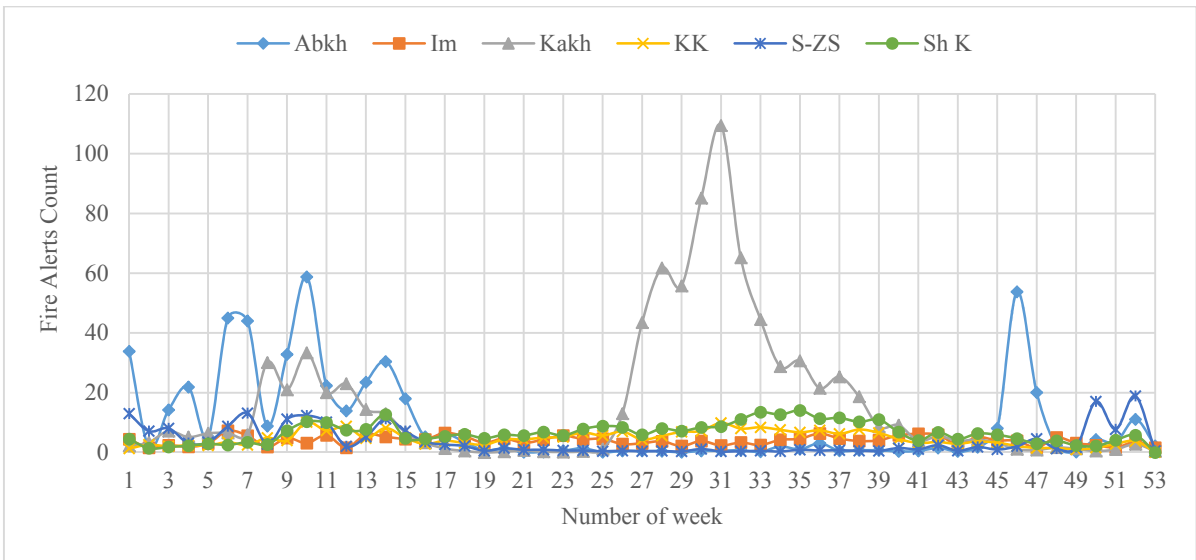
The standard statistical methods are used. The following designations will be used below: Min – minimal values; Max – maximal values; St Dev – standard deviation; St Err – standard error; R – coefficient of linear correlation;  $\alpha$  – level of significance

The degree of correlation was determined in accordance with [10]: very high correlation ( $0.9 \leq R \leq 1.0$ ); high correlation ( $0.7 \leq R < 0.9$ ); moderate correlation ( $0.5 \leq R < 0.7$ ); low correlation ( $0.3 \leq R < 0.5$ ); negligible correlation ( $0 \leq R < 0.3$ ).

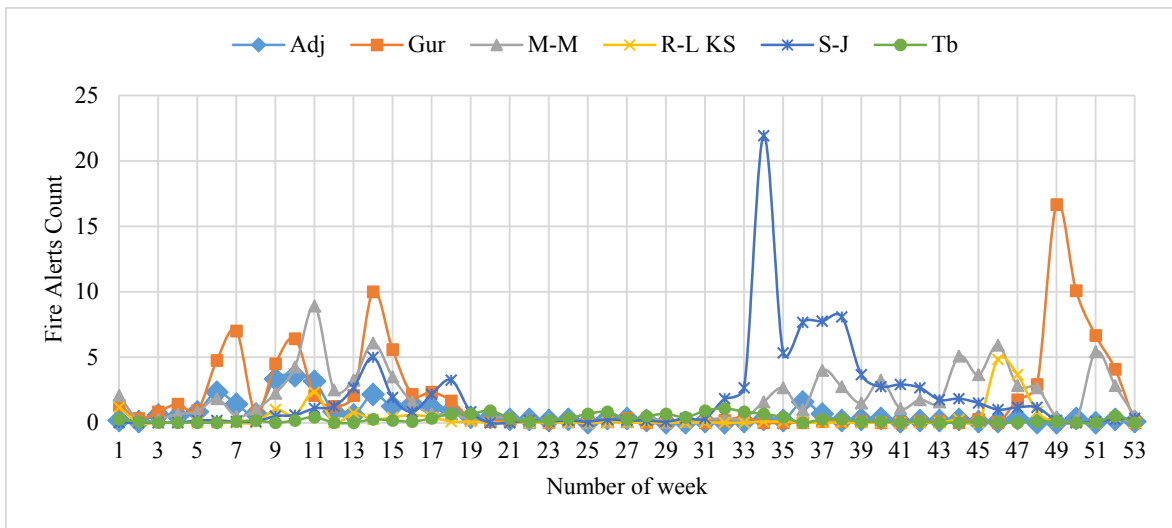
### Results and discussion

Results in Fig. 1-3 and Table 1-2 are presented.

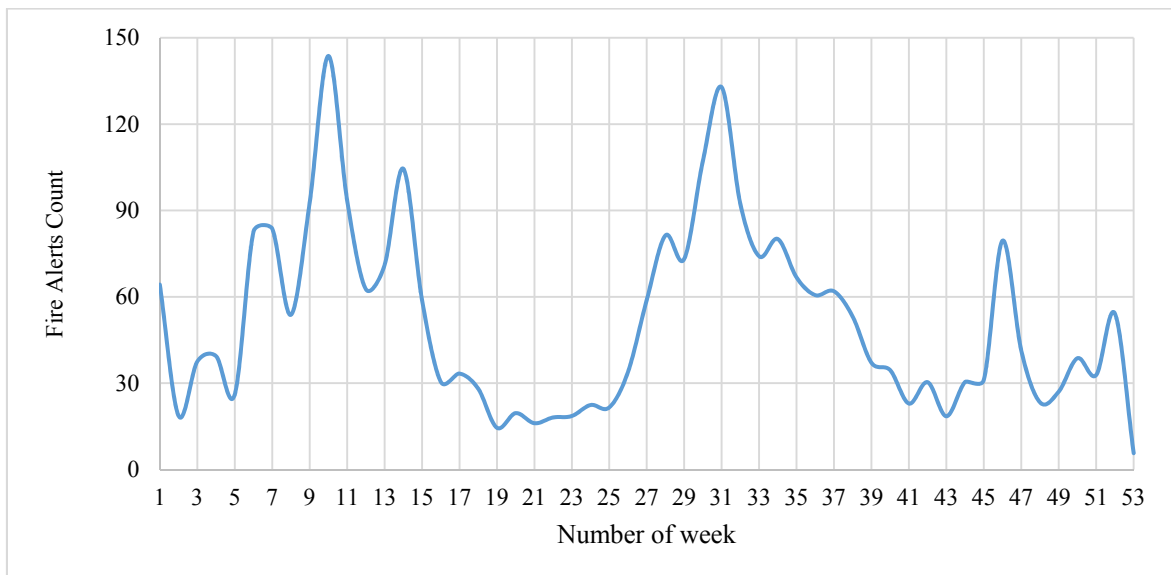
In Fig.1-3 data on intra-annual variation of the weekly fire alerts count in Georgia and its regions in 2012-2023 are presented.



**Fig. 1. Intra-annual variation of the weekly fire alerts count in 6 region of Georgia (Abkh, Im, Kakh, S-ZS, Sh K) in 2012-2023.**



**Fig. 2. Intra-annual variation of the weekly fire alerts count in 6 region of Georgia (Adj, Gur, M-M, R-L KS, S-J, Tb).**



**Fig. 3. Intra-annual variation of the weekly fire alerts count in Georgia.**

As follows from these Figures, the peaks of the values of FAC in different regions of Georgia occur to the following weeks. Fig. 1: Abkh – 58.8 and 53.8 (W10 and W46), Im – 7.3 (W6), Kakh -109.4 (W31), KK – 10.2 and 9.9 (W10 and W31), S-ZS – 18.9 (W52), Sh K – 14.1 (W35); Fig. 2: Adj – 3.6 (W10), Gur – 16.7 (W49), M-M – 8.9 (W11), R-L KS – 4.8 (W46), S-J – 21.9 (W34), Tb – 1.1 (W32); Fig. 3: Geo – 143.7 and 132.8 (W10 and W31).

In Table 1 statistical characteristics of the weekly fire alerts count in Georgia and its regions are presented. In Table data about coefficients of linear correlation between regions of Georgia on the weekly fire alerts count are presented.

**Table 1. Statistical characteristics of the weekly fire alerts count in Georgia and its regions.**

Variable	FAC in year	Min	Max	Average	St Dev	St Err
Abkh	516	0.1	58.8	9.7	14.9	2.1
Adj	33	0.0	3.6	0.6	0.9	0.1
Gur	100	0.0	16.7	1.9	3.3	0.5
Im	210	1.6	7.3	4.0	1.5	0.2
Kakh	858	0.0	109.4	16.2	23.2	3.2
KK	249	0.1	10.2	4.7	2.4	0.3
M-M	95	0.0	8.9	1.8	1.9	0.3
R-L KS	18	0.0	4.8	0.3	0.9	0.1
S-ZS	203	0.3	18.9	3.8	4.7	0.7
S-J	99	0.0	21.9	1.9	3.5	0.5
Sh K	346	0.0	14.1	6.5	3.4	0.5
Tb	14	0.0	1.1	0.3	0.3	0.0
Geo	2739	5.7	143.7	51.7	31.6	4.4

**Table 2. Coefficients of linear correlation between regions of Georgia on the weekly fire alerts count.**

$$R_{\min} = \pm 0.27, \alpha = 0.05.$$

	Abkh	Adj	Gur	Im	Kakh	KK	M-M	R-L KS	S-ZS	S-J	Sh K	Tb	Geo
Abkh	1												
Adj	0.64	1											
Gur	0.35	0.37	1										
Im	0.17	0.32	0.01	1									
Kakh	-0.13	-0.04	-0.20	-0.21	1								
KK	-0.05	0.22	-0.20	0.05	0.64	1							
M-M	0.45	0.46	0.19	0.22	-0.15	0.10	1						
R-L KS	0.53	0.16	0.01	0.01	-0.15	-0.20	0.52	1					
S-ZS	0.60	0.52	0.58	0.03	-0.22	-0.19	0.32	0.17	1				
S-J	-0.14	-0.02	-0.14	0.24	0.08	0.34	0.16	-0.07	-0.21	1			
Sh K	-0.11	0.14	-0.21	0.25	0.46	<b>0.84</b>	0.23	-0.10	-0.22	0.55	1		
Tb	-0.32	-0.20	-0.25	-0.08	0.50	0.50	-0.28	-0.18	-0.25	0.13	0.48	1	
Geo	0.54	0.49	0.17	0.06	0.71	0.62	0.31	0.19	0.31	0.16	0.50	0.24	1

As follows from Table 1 average annual values of FAC change from 14 (Tb) to 858 (Kakh). In Georgia average annual values of FAC is 2739.

Table 2 shows, that values of R change from 0.01 (negligible correlation) to 0.84 (pair KK÷Sh K, high correlation). Values of R for pairs Geo and regions of Georgia change from 0.16 (with S-J, negligible correlation) to 0.71 (with Kakh, high correlation).

## Conclusion

In the future, we plan to continue similar studies for both Tbilisi and other regions of Georgia using more extensive information.

## References

- [1] Amiranashvili A.G. Increasing Public Awareness of Different Types of Geophysical Catastrophes, Possibilities of Their Initiation as a Result of Terrorist Activity, Methods of Protection and Fight with Their Negative Consequences. Engaging the Public to Fight Consequences of Terrorism and Disasters. // NATO Science for Peace and Security Series E: Human and Societal Dynamics, vol. 120. IOS Press, Amsterdam•Berlin•Tokyo•Washington, DC, ISSN 1874-6276, 2015, pp.155-164.
- [2] Kartvelishvili L., Tatishvili M., Amiranashvili A., Megrelidze L., Kutaladze N. Weather, Climate and their Change Regularities for the Conditions of Georgia. // Monograph, Publishing House “UNIVERSAL”, ISBN: 978-9941-33-465-8, Tbilisi 2023, 406 p., <https://doi.org/10.52340/mng.9789941334658>
- [3] Bliadze T., Kirkitadze D., Samkharadze I., Tsiklauri Kh. Statistical Characteristics of Angstrom Fire Index for Tbilisi. // Int. Sc. Conf. “Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation”. Proc., ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp.86-90.
- [4] Bliadze T., Kirkitadze D., Samkharadze I., Tsiklauri Kh. Statistical Characteristics of Angstrom Fire Index for Telavi (Georgia). // International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp.64-67.
- [5] Bliadze T., Amiranashvili A., Chkhitudze M., Laghidze L. Statistical Analysis of Angstrom Fire Index for Kutaisi, Georgia. // II International Scientific Conference “Landscape Dimensions of Sustainable Development Science – Carto/GIS – Planning – Governance”, Dedicated to the 75th Anniversary of Professor Nikoloz (Niko) Beruchashvili, Proceedings, 12-16 September 2022, Tbilisi, Georgia, Ivane Javakhishvili Tbilisi State University Press, 2022, ISBN 978-9941-36-030-5, pp. 270-274. <http://www.dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10119>
- [6] ამირანაშვილი ა., ბლიაძე თ., დავითაშვილი მ., ხახიაშვილი მ. ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის ცვალებადობა კახეთში კლიმატის ცვლილების ფონზე. // მიხეილ ნოდინას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, შრომები, ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, ISSN 1512-1135, ტ. LXXV, თბილისი, გვ. 117 – 136. <http://openlibrary.ge/handle/123456789/10298>
- [7] Bliadze T., Gekkieva S., Kirkitadze D. Comparison of Angstrom Fire Index for Nalchik (Kabardino-Balkaria, Russian Federation) and Telavi (Georgia). // Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 68-72.
- [8] Bliadze T., Povolotskaya N., Senik I. Comparison of Angstrom Fire Index for Tbilisi (Georgia) and Kislovodsk (Russia). // International Scientific Conference „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 158 – 162.
- [9] Bliadze T. The Statistical Analysis of Total Number of Fire Alert in Georgia in 2012-2020. // International Scientific Conference „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 155 – 157.
- [10] Hinkle D. E., Wiersma W., Jurs S.G. Applied Statistics for the Behavioral Sciences. // Boston, MA, Houghton Mifflin Company, ISBN: 0618124055; 9780618124053, 2003, 756 p.

## STATISTICAL CHARACTERISTICS OF MEAN MONTHLY AND ANNUAL CONCENTRATIONS OF PARTICULATE MATTER PM<sub>2.5</sub> AND PM<sub>10</sub> IN TBILISI IN 2017-2023

**Bliadze T., Chkhitudze M., Kirkitadze D.**

*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia  
teimuraz.bliadze@gmail.com*

**Abstract:** Results of the statistical analysis of the average monthly and annual concentrations of particulate matter PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> at three locations in Tbilisi (Kazbegi av., Tsereteli av. and Varketili) in 2017-2023 are presented. An analysis of the correlations between the indicated characteristics of air pollution has been carried out. The variability of the average annual values of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in the study period of observations was studied. In particular, it was found that after a significant decrease in the average annual concentration of aerosols in 2020-2021 due to restrictions on vehicle movement related to the COVID-19 pandemic, an increase in aerosol pollution of the atmosphere has been observed in recent years. Thus, in 2023, the monitoring station on Tsereteli Avenue fixed a record increase in PM<sub>10</sub> content in the air. In general, over the entire observation period, the average annual concentration of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> was above the permissible limit.

**Key words:** Atmospheric aerosols, particulate matter, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>.

### Introduction

Over the past four decades, the Department of Atmospheric Physics of the M. Nodia Institute of Geophysics, TSU has been conducting various studies on atmospheric aerosols [1-12].

In particular, a comparative analysis of aerosol air pollution with PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> particles in four Georgian settlements – Tbilisi, Batumi, Kutaisi and Rustavi – was conducted in [5,6].

A number of studies examined the impact of traffic restrictions in Tbilisi due to the COVID-19 pandemic on the level of air pollution in the air compared to the pre-pandemic period [7-10]. Particular attention was paid to studies of the dynamics of aerosol air pollution in Tbilisi, the results of which were constantly updated as new data became available [11,12].

This work is a continuation of previous studies. Below are the results of a statistical analysis of the average monthly and annual concentrations of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> particles in Tbilisi in 2017-2023.

### Study area, material and methods

Study area – three locations of Tbilisi (A. Kazbegi av. – KZBG, A. Tsereteli av. – TSRT, Varketili – VRKT). Coordinates of these locations of air pollution measurements points in [11] is presented.

The data of Georgian National Environmental Agency about the daily mean values of dust concentration (atmospheric particulate matter – PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>) [[http://air.gov.ge/reports\\_page](http://air.gov.ge/reports_page)] that averaged on three indicated stations are used. Period of observation: January 2017 – December 2023.

In the proposed work the analysis of data is carried out with the use of the standard statistical analysis methods [13]. Missed data of time-series of observations were restored in the correspondence with the standard methods.

The following designations will be used below: Min – minimal values; Max – maximal values; St Dev – standard deviation;  $C_v = 100 \cdot \text{St Dev} / \text{Average}$ , coefficient of variation (%); R coefficient of linear correlation.

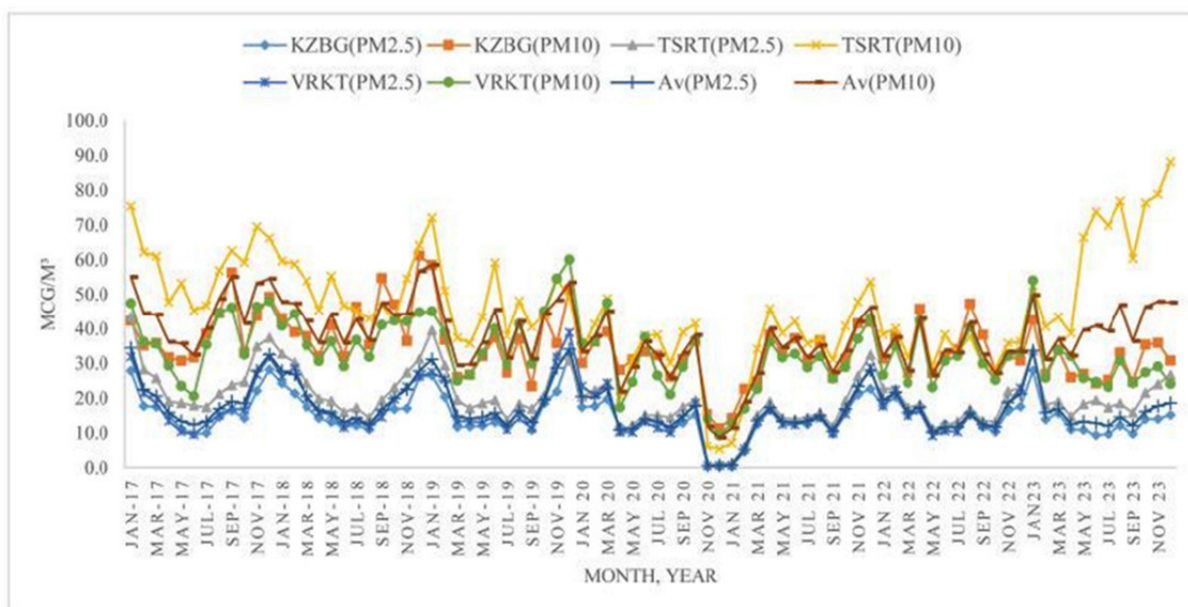
KZBG(PM2.5), KZBG(PM10) ...etc. – concentrations of particulate matter PM2.5 and PM10 on the Kazbegi av. measurement point, etc.; Av(PM2.5) and Av(PM10) – averaged over all three stations PM2.5 and PM10.

In the correspondence with the standards of the World Health Organization maximum permissible concentration (MPC) composes: annual mean for PM2.5 – 10 mcg/m<sup>3</sup> and for PM10 – 20 mcg/m<sup>3</sup> [14]. In the text below, the dimension of aerosol concentration (mcg/m<sup>3</sup>) is mostly omitted.

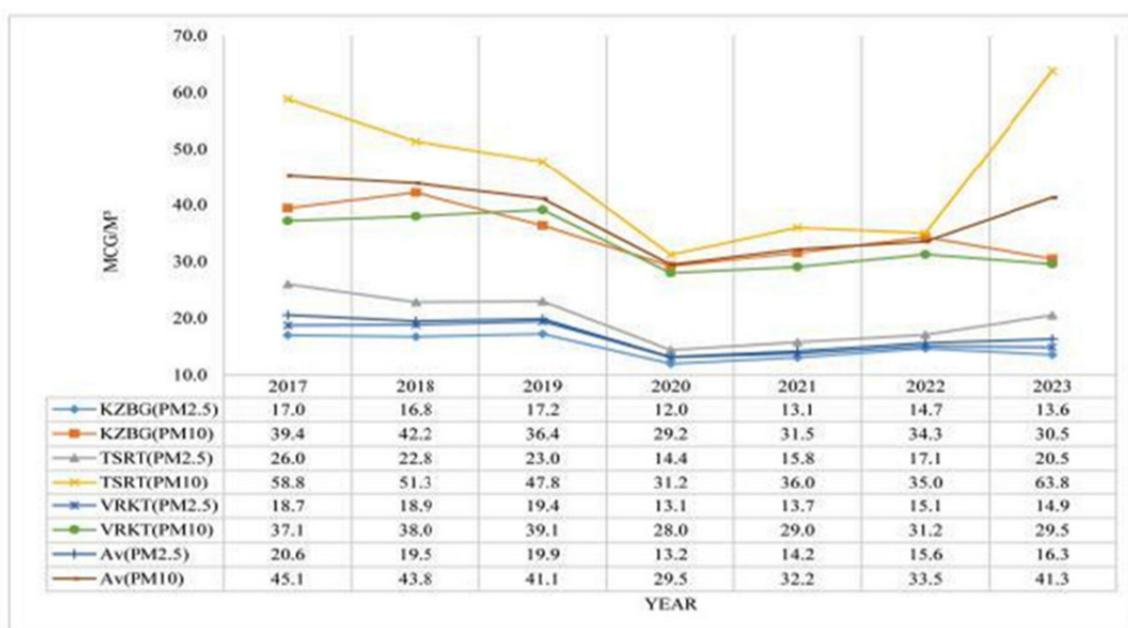
## Results and discussion

Results in Fig. 1,2 and Table 1 are presented.

In Fig. 1 and 2 time-series of mean monthly and annual values of PM2.5 and PM10 at three points in Tbilisi and their averaged values for all measurement points in 2017-2023 are presented. Table 1 provides statistical characteristics of the data shown in Fig. 1.



**Fig. 1. Time-series of mean monthly values of PM2.5 and PM10 at three points in Tbilisi and their averaged values for all measurement points in 2017-2023.**



**Fig. 2. Time series of mean annual values of PM2.5 and PM10 at three points in Tbilisi and their averaged values for all measurement points in 2017-2023.**



In particular, as follows from Fig. 1 and Table 1, in 2017-2023 the range of variability for PM2.5 values is from 0.3 (KZBG) to 43.6 (TSRT), and PM10 – from 5.4 (TSRT) to 88.1 (TSRT). The range of variability of the average values of PM2.5 for the specified period of time is from 0.5 to 34.4, and PM10 – from 8.6 to 58.6. The highest level of air pollution with solid particles PM2.5 and PM10 is observed in TSRT (19.9 and 46.3 accordingly). The lowest level of air pollution with particulate matter PM2.5 is observed in KZBG (14.9), and PM10 in VRKT (33.1).

In general (Table 1), the linear correlation coefficient for all studied parameters varies from 0.47 (low correlation, pair VRKT(PM2.5) – TSRT(PM10)) to 0.98 (very high correlation, pair Av(PM2.5) – KZBG(PM2.5)).

**Table 1. Statistical characteristics of mean monthly values of PM2.5 and PM10 in Tbilisi in 2017-2023.**

Variable	KZBG (PM2.5)	KZBG (PM10)	TSRT (PM2.5)	TSRT (PM10)	VRKT (PM2.5)	VRKT (PM10)	Av (PM2.5)	Av (PM10)
Max	32.7	61.2	43.6	88.1	39.3	60.1	34.4	58.6
Min	0.3	11.3	0.8	5.4	0.5	9.3	0.5	8.6
Average	14.9	34.8	19.9	46.3	16.3	33.1	17.0	38.1
St Dev	5.8	9.1	7.9	16.1	7.5	9.6	6.9	9.8
C <sub>v</sub> , %	38.9	26.2	39.4	34.7	46.2	29.0	40.4	25.8
Correlation Matrix								
KZBG(PM2.5)	1	0.76	0.91	0.52	0.96	0.85	0.98	0.80
KZBG(PM10)	0.76	1	0.68	0.49	0.67	0.83	0.72	0.85
TSRT(PM2.5)	0.91	0.68	1	0.73	0.90	0.77	0.97	0.86
TSRT(PM10)	0.52	0.49	0.73	1	0.47	0.48	0.60	0.85
VRKT(PM2.5)	0.96	0.67	0.90	0.47	1	0.86	0.98	0.74
VRKT(PM10)	0.85	0.83	0.77	0.48	0.86	1	0.85	0.84
Av(PM2.5)	0.98	0.72	0.97	0.60	0.98	0.85	1	0.82
Av(PM10)	0.80	0.85	0.86	0.85	0.74	0.84	0.82	1

The R value for PM2.5 varies from 0.90 (high correlation, pair VRKT(PM2.5) – TSRT (PM2.5)) to 0.98 (very high correlation, pair Av(PM2.5) – KZBG(PM2.5)).

The R value for PM10 varies from 0.48 (low correlation, pair VRKT(PM10) – TSRT(PM10)) to 0.85 (high correlation, pair Av(PM10) – KZBG(PM2.5) and pair Av(PM10) – TSRT(PM10)).

The R value between PM2.5 and PM10 varied from 0.73 (high correlation, TSRT) to 0.86 (high correlation, VRKT). Between Av(PM2.5) and Av(PM10) the R value is 0.79 (high correlation).

It is important to note that in 2023, the monitoring station on Tsereteli Avenue (TSRT) fixed a record increase in PM10 content in the air (88.1 on monthly data and 63.8 on annual data, Fig. 1,2 and Table 1). Apparently, this was connected with large-scale construction work to rehabilitate Tsereteli Avenue.

In conclusion, we note that in general, over the entire observation period, the average annual concentration of PM2.5 and PM10 was above the permissible limit.

## Conclusion

In the future, as new data accumulates, it is planned to continue similar studies of the variability of daily, average monthly and average annual values of PM2.5 and PM10 in Tbilisi and another regions of Georgia.

## Acknowledgement

The authors are grateful to the chief of the atmospheric physics department of M. Nodia Institute of Geophysics A. Amiranashvili for assistance in the fulfillment of this work.

## References

- [1] Kirkitadze D., Nikiforov G., Chankvetadze A., Chkhaidze G. Some Results of Studies of Atmospheric Aerosols in M. Nodia Institute of Geophysics in the Recent Three Decades. // Trans. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. 66, Tbilisi, 2016, pp. 178-185, (in Russian).
- [2] Amiranashvili A., Bliadze T., Kirkitadze D., Nikiforov G., Nodia A., Kharchilava j., Chankvetadze A., Chikhladze V., Chochishvili K., Chkhaidze G.P. Some Preliminary Results of the Complex Monitoring of Surface Ozone Concentration (SOC), Intensity of Summary Solar Radiation and Sub-Micron Aerosols Content in Air in Tbilisi in 2009-2010. // Trans. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. 62, Tbilisi, 2010, pp. 189-196, (in Russian).
- [3] Amiranashvili A., Chargazia Kh. Intra-Annual and Seasonal Variations of Sub-Micron Aerosols Concentration and their Connection with Radon Content in Surface Boundary Layer of Tbilisi City. // Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, vol. 10, N 2, 2016, p. 72-78.
- [4] Kartvelishvili L., Tatishvili M., Amiranashvili A., Megrelidze L., Kutaladze N. Weather, Climate and their Change Regularities for the Conditions of Georgia. // Monograph, Publishing House "UNIVERSAL", Tbilisi 2023, 406 p., <https://doi.org/10.52340/mng.9789941334658>
- [5] Bliadze T.G., Kirkitadze D.D., Tchankvetadze A. Sh., Chikhladze V.A. Comparative Analysis of Air Pollution in Tbilisi and Kutaisi. // Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 6, Kutaisi, Georgia, 21-22 September, 2018, pp. 157-160.
- [6] Bliadze T., Chikhladze V., Chkhitudze M., Kirkitadze D. Comparative Analysis of Mean Monthly and Annual Concentrations of Particulate Matter PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in Tbilisi, Batumi, Kutaisi and Rustavi in 2019-2022. // Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes". Proceedings, ISBN 978-9941-36-147-0, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, 2023, pp. 292-296. <http://openlibrary.ge/handle/123456789/10459>
- [7] Amiranashvili A.G., Kirkitadze D.D., Kekenadze E.N. Pandemic of Coronavirus COVID-19 and Air Pollution in Tbilisi in Spring 2020. // Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 23(1), 2020, pp. 57-72.
- [8] Kirkitadze D. Changeability of Monthly Mean Values of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in Three Points of Tbilisi from January 2017 to October 2021. Pandemic of Coronavirus Covid-19 and PM<sub>2.5</sub>/10 in Tbilisi from March 2020 to August 2021. // Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“, Proc., ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 101 – 105.
- [9] Kirkitadze D. Variability of Monthly Mean Values of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in Three Points of Tbilisi from January 2017 to May 2020. Pandemic of Coronavirus COVID-19 and PM<sub>2.5</sub>/10 in Spring 2020 in Tbilisi. // Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 268-272.
- [10] Kukhalashvili V., Pipia M., Gigauri N., Surmava A., Intskirveli L. Study of Tbilisi City Atmosphere Pollution with PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>-Microparticles During COVID-19 Pandemic Period. // Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 25(2), 2022, pp. 29–37. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2520225958>
- [11] Kirkitadze D.D. Statistical Characteristics of Aerosol Pollution of Atmosphere in Three Points of Tbilisi in 2017-2018. // Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 22(2), 2019, pp. 55–62.
- [12] Kirkitadze D.D. Statistical Characteristics of Monthly Mean and Annual Concentrations of *Particulate Matter* PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in Three Points of Tbilisi in 2017-2022. // *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 26(1), 2023, pp. 67-82.
- [13] Hinkle D. E., Wiersma W., Jurs S. G. Applied Statistics for the Behavioral Sciences. // Boston, MA, Houghton Mifflin Company, ISBN: 0618124055; 9780618124053, 2003, 756 p.
- [14] WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005 Summary of risk assessment. World Health Organization, 2006, 22 p., [http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_eng.pdf;jsessionid=48F380E7090ADBB4A166AC7A8610624A?sequence=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf;jsessionid=48F380E7090ADBB4A166AC7A8610624A?sequence=1)

## ქ. ქუთაისის ატმოსფეროში შტილის დროს გაფრქვეული PM10-ის კონცენტრაციის დროსა და სივრცეში ცვლილების რიცხვითი მოდელირება

**\*,\* კურმავა ა., \*\* კუხალაშვილი ვ., \* გიგაური ნ., \* ინწკირველი ლ.**

*\*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, თბილისი, საქართველო  
\*\*ივ.ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის  
მ. ნოდიას გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თბილისი, საქართველო*

**ანოტაცია.** რიცხობრივად მოდელირებული და გაანალიზებულია ავტოტრანსპორტის მიერ გაფრქვეული PM10-ის გავრცელება ქ. ქუთაისის ჰაერში ზაფხულში შტილური მეტეოროლოგიური პირობების დროს. მიღებულია PM10-ის კონცენტრაციის დროში ცვლილებისა და სივრცული განაწილების სურათები. ნაჩვენებია, რომ ქალაქისა და მიმდებარე ტერიტორიის რელიეფი განაპირობებს ქარის სიჩქარის მინისპირა ანტიციკლონური გრივალის წარმოშობას. ფორმირებული ქარის სიჩქარის ველი ხელს უწყობს PM10-ის ქალაქიდან გატანას, ატმოსფეროს „თვითგასუფთავების“ პროცესს.

**საკანძო სიტყვები:** ატმოსფერო, PM10, დაბინძურება, რიცხვითი მოდელირება, კონცენტრაცია, შტილი.

**შესავალი.** ცნობილია, რომ ატმოსფეროში არსებული მიკროაეროზოლი ახდენს ნეგატიურ ზემოქმედებას ადამიანთა ჯანმრთელობაზე, იწვევს ფილტვის კიბოს, ინსულტს, გულ-სისხლ-ძარღვთა და სხვა დაავადებებს, ხშირ შემთხვევებში სიკვდილსაც კი [1]. ამიტომ, განსაკუთრებით აქტუალურია ატმოსფეროს M10-ით დაბინძურების პრობლემის შესწავლა არა მარტო მეგაპოლისებში, არამედ ცალკეულ მცირე ქალაქებში.

ქ. ქუთაისი არ შედის მსოფლიოს ძლიერ დაბინძურებული ქალაქების რიცხვში [2]. თუმცა, ცალკეულ შემთხვევებში მიკრონაწილაკების კონცენტრაციები, ამ ქალაქში აჭარბებენ ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობას.

წარმოდგენილ სტატიაში ატმოსფეროში მინარევის გავრცელების კომპიუტერული მოდელირების საშუალებით გაანალიზებულია ქ. ქუთაისისა და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე ატმოსფეროში ავტოტრანსპორტით გაფრქვეული PM10-ის გავრცელებისა და დროში ცვლილების პროცესი.

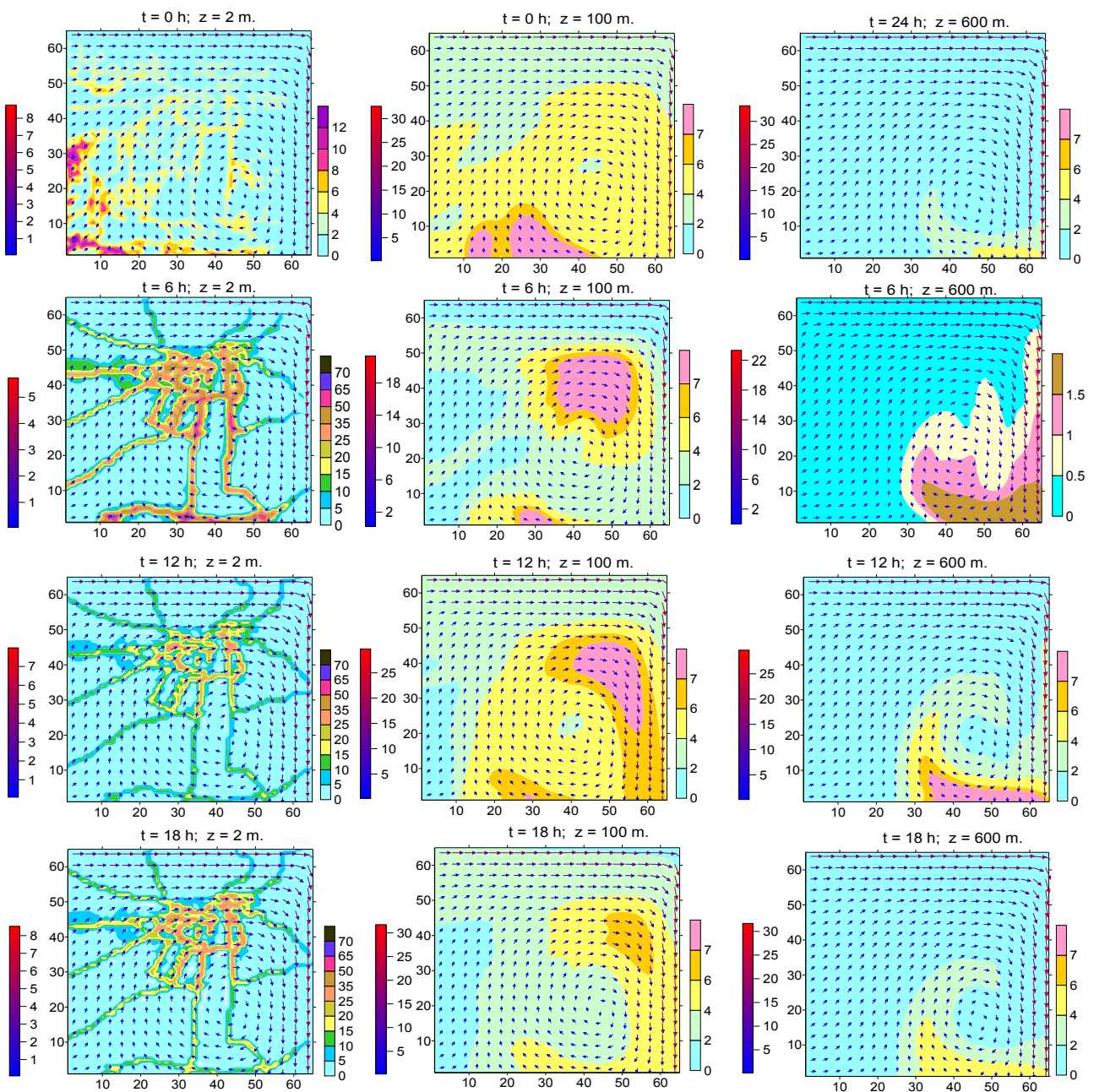
**კვლევის მეთოდი.** ქ. ქუთაისში ატმოსფეროში PM10-ის დროში ცვლილება და სივრცული განაწილება შესწავლილია რიცხვითი მოდელირებით. მოდელირება განხორციელებულია კავკასიის რეგიონში ატმოსფერული პროცესების 3D განტოლებათა სისტემის და მინარევის გადატანა-დიფუზიის განტოლების ერთობლივი ინტეგრირებით [3]. რიცხვითი ბადის ბიჯები ჰორიზონტალური მიმართულებით 200 მ-ია, ვერტიკალური მიმართულებით ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენას და თავისუფალ ატმოსფეროში 300 მ, ატმოსფეროს მინისპირა 100 მ სისქის ფენაში ვერტიკალური ბიჯები იცვლება 0.5 მ-დან 15 მ-დე. დროითი ბიჯი 1 წმდია.

მოდელირებულია ივნისის თვეში ქ. ქუთაისის ატმოსფეროს PM10-ით დაბინძურების შემთხვევა, როდესაც ატმოსფეროს მინისპირა ფენის ზედა საზღვარზე 100 მ სიმაღლეზე ადგილი აქვს შტილურ სიტუაციას. მინისპირა ფენის ზევით ქარი დასავლეთისაა, მისი სიჩქარე წრფივად იზრდება სიმაღლის ზრდასთან ერთად და 9 კმ-ის სიმაღლეზე აღწევს 20 მ/წმ-ს.

დაშვებულია, რომ ატმოსფეროს PM10-ით დაბინძურება ხდება ავტოტრანსპორტის მოძრაობის შედეგად 0.5 მ სიმაღლეზე 5 ტიპის არეში: ავტომანქანების, ქალაქის ცენტრალური ქუჩების, საცხოვრებელი და სამრეწველო ზონებისა და მიმდებარე სოფლების დაუსახლებელ ტერიტორიებზე.

**რიცხვითი მოდელირების შედეგები.** ნახ. 1-ზე ნაჩვენებია PM10-ის კონცენტრაციის და ქარის სიჩქარის ველის განაწილებაა მიწის ზედაპირიდან 2, 100 და 600 მ სიმაღლეებზე მიღებული გამოთვლებით დღელამის 0, 6, 12 და 18 სთ-ზე. ნახ. 1-დან ჩანს, რომ ქ. ქუთაისის რელიეფის ზემოქმედება ფონურ ქარზე წარმოშობს ქარის სიჩქარის ლოკალურ ანტიციკლონურ გრივალს. გრივალი კვაზისტაციონალურია. მისი ცენტრი მდებარეობს ქ. ქუთაისის სამხრეთ-აღმოსავლეთით არსებულ დაბლობ ტერიტორიაზე.

მიღებული შედეგების ანალიზმა აჩვენა, რომ ქარის სიჩქარის დივერგენტული ხასიათი განსაზღვრავს კონცენტრაციის სივრცული განაწილების სურათს. PM10-ის კონცენტრაცია 0-დან 4 სთ-მდე დროის ინტერვალში მცირეა. მიწის ზედაპირიდან 2 მ სიმაღლეზე დასახლებულ, სამრეწველო და დაუსახლებელ ტერიტორიებზე კონცენტრაციის მნიშვნელობა 2–5 მკგ/მ<sup>3</sup>-ის ფარგლებშია. ქალაქის ცენტრალურ ქუჩებსა და მაგისტრალეებზე კონცენტრაცია იცვლება 4–6 მკგ/მ<sup>3</sup>-მდე. ქალაქის სამხრეთით მდებარე გარს შემოშვებული მაგისტრალისა და ავტომშენებელთა ქუჩის მიდამოებში კონცენტრაცია აღწევს 12 მკგ/მ<sup>3</sup>.



**ნახ. 1. PM10-ის კონცენტრაციის (მკგ/მ<sup>3</sup>) და ქარის სიჩქარის (მ/წმ) ველების განაწილება მიწის ზედაპირიდან 2, 100 და 600 მ სიმაღლეებზე როცა t = 0, 6, 12 და 18 სთ.**

4 სთ-ის შემდეგ იზრდება საავტომობილო ტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობა და ატმოსფეროში გაფრქვეული მიკრონაწილაკების რაოდენობა. შესაბამისად, მატულობს ატმოსფეროს დაბინძურების დონე მინისპირა ფენის მთელ ტერიტორიაზე. როცა  $t = 6$  სთ კონცენტრაცია მინის ზედაპირიდან 2 მ სიმაღლეზე ქალაქის ცენტრალურ ურბანულად დატვირთულ ტერიტორიებზე, ქალაქისა და ქალაქის გარსშემოვლითი მაგისტრალის მიდამოების ცალკეულ პუნქტებში აღწევს  $50-60$  მკგ/მ<sup>3</sup>-ს (ნახ.1, სურ.  $t = 6$  h;  $z = 2$  m).

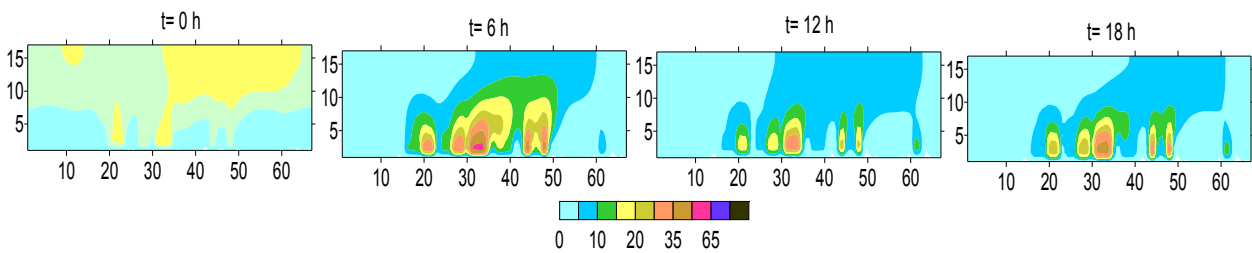
ატმოსფეროს მინისპირა ფენაში ქალაქის ურბანიზებულ ტერიტორიაზე 2 მ სიმაღლეზე კონცენტრაციის ზრდა გრძელდება 7 სთ-მდე. 7 სთ-ის შემდეგ იწყება სწრაფი შემცირება. 9 სთ-თვის კონცენტრაციის მაქსიმალური მნიშვნელობა  $35$  მკგ/მ<sup>3</sup>-ია და მიღებულია ქალაქის ცენტრში, ხოლო პერიფერიაში, გარსშემომვლელი გზის ჩათვლით, კონცენტრაცია არ აღემატება  $29$  მკგ/მ<sup>3</sup>-ს (ნახ.1, სურ.  $t = 9$  h;  $z = 2$  m). დღის 12-დან 15 სთ-მდე ინტერვალში კონცენტრაციის ველი 2 მ სიმაღლეზე პრაქტიკულად დროში უცვლელია. კონცენტრაციის მაქსიმალური მნიშვნელობა  $20-25$  მკგ/მ<sup>3</sup>-ის ფარგლებშია.

15 სთ-ის შემდგომ იწყება ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების დონის ზრდის მეორე ეტაპი (ნახ.1, სურ.  $t = 18$  h;  $z = 2$  m). ის გრძელდება 21 სთ-მდე.

კონცენტრაციის მაქსიმალური მნიშვნელობა მინის ზედაპირიდან 2 მ სიმაღლეზე  $35-40$  მკგ/მ<sup>3</sup>-ის ფარგლებშია, უფრო მეტ სიმაღლეებზე –  $100$  და  $600$  მ, ტოლია  $8$  და  $6$  მკგ/მ<sup>3</sup>-ის, (ნახ.1, სურ.  $t = 12$  h;  $z = 100$  m, სურ.  $t = 12$  h;  $z = 600$  m).

ნახ. 2-ზე ნაჩვენებია PM10-ის კონცენტრაციის განაწილება ქალაქის ცენტრში ატმოსფეროს მინისპირა ფენაში პარალელის გასწვრივ გავლებულ ვერტიკალურ კვეთაში ერთი დღეღამის გამავლობაში.

ნახ. 2-დან ჩანს, რომ დღის 0–3 სთ ინტერვალში PM10-ის ზედაპირულ განაწილებას გააჩნია ინვერსიული ფორმა. დაბინძურების ღრუბელი ატმოსფეროს მინისპირა ფენის ზედა ნაწილში გავრცელებულია ფართო ტერიტორიაზე. ქვედა ნაწილში ის წარმოადგენს ცალკეულ სუსტ თერმიკებს. დროის შემდგომ მომენტებში, ატმოსფეროს მინისპირა ფენის ქვედა დაახლოებით 15-20 მ სისქის ნაწილში, ფორმირდება მაღალი დაბინძურების არეები მინისპირა თერმიკების სახით.



**ნახ. 2. PM10-ის კონცენტრაციის (მკგ/მ<sup>3</sup>) განაწილება ქალაქის ცენტრში ატმოსფეროს მინისპირა ფენაში პარალელის გასწვრივ არსებულ ვერტიკალურ კვეთაში.**

**დასკვნა.** რიცხვითი მოდელირებით გამოკვლეულია ქ. ქუთაისის ტერიტორიაზე ავტოტრანსპორტის მიერ წარმოშობილი PM10-ის სივრცული განაწილებისა და დროში ცვლილების თავისებურება შტილური მეტეოროლოგიური სიტუაციის დროს. ნაჩვენებია, რომ, კონცენტრაციის სივრცული განაწილება მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული როგორც ავტოტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობაზე, ასევე ატმოსფეროს მინისპირა ფენის კინემატიკაზე და ქვეფენილ ზედაპირზე თერმული რეჟიმის დღეღამური ცვლილებით ფორმირებულ ლოკალურ ცირკულაციურ სისტემაზე. შესწავლილია კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილების სტრუქტურა.

**მადლიერების გამოხატვა.** სამეცნიერო კვლევა დაფინანსებული და შესრულებულია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით FR- 22 – 4765 გრანტის ფარგლებში.

## ლიტერატურა

- [1] Mortality and burden of disease from ambient air pollution-WHO. [https://www.who.int/gho/phe/outdoor\\_air\\_pollution/burden/en/](https://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/burden/en/)
- [2] World's most polluted cities (historical data 2017-2022). <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities>
- [3] Surmava A., Intskirveli L., Kukhalashvili V. Numerical Modeling of the Transborder, Regional and Local Diffusion of the Dust in Georgian Atmosphere. // Publishing House, Technical University”, Tbilisi, Georgia. ISBN 978-9941-28-810-4, 2021, 139 p. <http://www.gtu.ge> (in georgian)

### NUMERICAL MODELING OF CHANGES IN TIME AND SPACE OF THE CONCENTRATION OF PM10 DISPERSED IN THE ATMOSPHERE OF KUTAISI CITY DURING CALM

Surmava A., Kukhalashvili V., Gigauri N., Intskirveli L.

**Abstract.** *The spread of PM10 emitted by motor vehicles is numerically modeled and analyzed in the air of c. Kutaisi in summer during calm meteorological conditions. Images of PM10 concentration changes over time and spatial distribution were obtained. It is shown that the topography of the city and the surrounding area determines the generation of landward anticyclonic eddies of wind speed. The formed wind speed field contributes to the removal of PM10 from the city, the process of "self-cleaning" of the atmosphere.*

**Key words:** *atmosphere, PM10, pollution, numerical modeling, concentration, silence.*

## SOIL POLLUTION IN THE VICINITY OF AUTOMOBILE WORKSHOPS, NEAR POPULATED AREAS ACROSS TBILISI

**\*Matiashvili S., \*\*Chanqseliani Z.**

*\*M. Nodia Institute of Geophysics of the I. Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*

*\*\*Soil Fertility Research Service of LEPL Agricultural Scientific Research Center, Tbilisi, Georgia  
e-mail:sophiko.matiashvili@tsu.ge*

**Abstract.** *Our research concerns the radioecological issue of the soils of the automobile workshop located next to the residential areas of Tbilisi, the capital of Georgia. Specifically, soil pollution, which affects people's health. We have done a lot of research on this issue and there is unmistakable data based on research laboratory analysis.*

**Key Words:** *pollution, soil, automobile workshops*

### Introduction

The purpose of the study is to evaluate the occupational and toxicological risk of exposure to toxic elements in the upper soil layer of automotive workshops located in residential areas.

10 composite soil samples were strategically collected in individual districts of Tbilisi and transported to the laboratory. Using a 1 kg sample of the treated sample, namely a mixture of nitric acid and hydrochloric acid, with an optimal molar ratio of 1:3. and toxic elements were analyzed using Atomic Absorption Spectrometer (AAS).

The result showed the presence of arsenic (As = 0.67 – 5.63 mg/kg), cadmium (Cd = 8.92 – 134 mg/kg), cobalt (Co = 6.21 – 71.22 mg/kg), nickel (Ni = 1.89 – 9.18 mg/kg) and lead (Pb = 32.6 – 211 mg/kg) in the soil. The concentrations of Cd and Pb in 66.7% and 58.3% of the sample are higher than the permissible norm. (for Cd 22 and Pb 140 mg/kg) respectively. Contamination factors (CF) indicate very high soil contamination from Cd and Pb.

A significant relationship between TEs (Pb, Cd, Co, Ni and As)  $p < 0.01$  indicates the occurrence of anthropogenic origin. hazard index (HI) A significant relationship between TEs (Pb, Cd, Co, Ni and As)  $p < 0.01$  indicates the occurrence of anthropogenic origin. hazard index (HI)

The investigated topsoil is contaminated with Cd and Pb, and there is a non-tumor effect of long-term exposure to Pb. Therefore, AWs should be moved away from residential areas, and remediation of contaminated soil should be considered.

### Study area, material and methods

These emissions. Contains cadmium (Cd), lead (Pb), nickel (Ni) and zinc (Zn), most Pb from gasoline and Zn from tires important sources of pollution.

In the workshops, various types of technical services are performed, quickly and easily, changing the oil in the engine. If needed, they offer welding, spraying, electrical and auto body repair.

During service, chemicals, paints, primers and other hazardous products are often used in the work of auto workshops. At this time, soil pollutants should be disposed of properly. Substances such as petrol, diesel, solvents, lubricants and grease can be released unintentionally or intentionally. Terrestrial Environ-



ment Many shale oil products consist of organic compounds that can cause high toxicity to soil, organisms, and humans. The term "toxic elements" (TEs) refers to heavy metals, because of their nucleon number and/or high density [1].



**Fig. 1. Automobile workshops, near populated areas across Tbilisi**

## Results

Among the TEs, Cu, Zn, Pb, Mn, Cr, Cd, Ni and Fe are the ones that should be of most concern. The primary sources of these TE-s.

Soil is a result of various human-made activities such as urbanization, industrialization, waste disposal and incineration, vehicle emissions, fertilizer use, mining, metal and steel processing and manufacturing, and metallurgical processes. Numerous studies have determined that human exposure to particles can occur through ingestion, skin contact, or inhalation. In addition to polluting the soil, massive increases in TEs in the environment have adverse health effects impact on people. Like Zn, Cd, Pb and Cr are associated with numerous arrays

Diseases, including neurological disorders, cardiovascular disease, hematological and bone diseases, kidney. The aim of this study was to determine the TEs of topsoil (such as Cd, Co, Ni, and Pb) concentration and quality Pollution. Furthermore, since the information on these TEs is It is crucial to assess the toxicological risk of exposure as well. The health of workers at work was evaluated to meet others global goals. The study of automotive workshop areas was selected based on their location, within and close to the population. All study sites were of the same soil type (sandy-clay).

Ten composite soil samples were taken in May 2024 from ten strategically selected automotive workshops located within and very close to residences.

The sample was stored in labeled, hermetic polyethylene bags. All glassware used for the study was pretreated with 5% Trioxonitrate (IV) acid ( $\text{HNO}_3$ ) and then cleaned with distilled water. Aqua regia was used to treat the prepared sample. flask, which we dried in an oven at 35 °C for 15 min. I transferred 1 g of the sample to a flask with 20 cm<sup>3</sup> of aqua regia. The mixture is carefully stirred and then heated in a steam hood for several hours without reference to time. Samples were cooled, filtered and diluted with deionized water to 50 cm<sup>3</sup>. in a volumetric flask, then analyzed for TEs (As, Co, Cd, Pb and Ni) using AAS (model: ICE3000 series).

## Contamination factor (CF)

The degree of soil contamination/pollution can be assessed using various methods. The present study adopted the contamination factor (CF), TE to assess the degree of soil contamination. The classification used

for the degree of pollution is described as:  $CF < 1$  is low,  $1 \leq CF < 3$  is moderate,  $3 \leq CF < 6$  is significant,  $6 \leq CF$  is very high.

The source of elements in the soil was estimated using Pearson's correlation.  $p < 0.05$ . Concentration of toxic elements (TEs).

The concentration of TE in soil represented as Co, Cd, Pb and Ni from the study varies from 0.67–5.63, 6.21–71.2, 8.92–134, 32.6–211 and 1.89–9.20 mg/kg. average 3.16, 46.0, 80.0, 127 and 5.52 mg/kg.

Different types of arsenic have a significant effect on their toxicity. Absorbed and transferred into the food chain, the inorganic forms found in the soil are dangerous, affecting living species. The highest As concentration was observed in the sample taken from the Eliava area (5.63 mg/kg). The largest sample of Co level was observed in the so-called Didubi. “Eliava” area. (71.3 mg/kg), (68.9 mg/kg) [2, 3].

According to the ATSDR list, cadmium (Cd) is the sixth most hazardous element. Continuous contact with the source of infection with Cd causes cellular mutagenesis, lung and testicular damage. The highest concentration of Cd was (134 mg/kg), followed by (122 mg/kg). The burning of petroleum fuels, plastics, glass, electrode welding areas used by specialists, and paint on car bodies are usually sources of Cd. The level of Cd in 66.7% of the samples was above (22 mg/kg) [4, 5].

The concentration of Pb in 58.3% of the samples was higher than (140 mg/kg).

Nickel (Ni) Nickel has several mechanisms of toxicity, including sensitizing and allergenic properties. The highest concentration of Ni was recorded (9.18 mg/kg). Ni levels were low in 100% of samples. The factor of contamination of TEs in the soil is present. The study revealed that the soil in the studied area has low contamination with Ni (0.08), moderate Co (2.42) and very high Cd (265) and Pb (6.34). CF value decreasing  $Cd > Pb > Co > As > Ni$ .

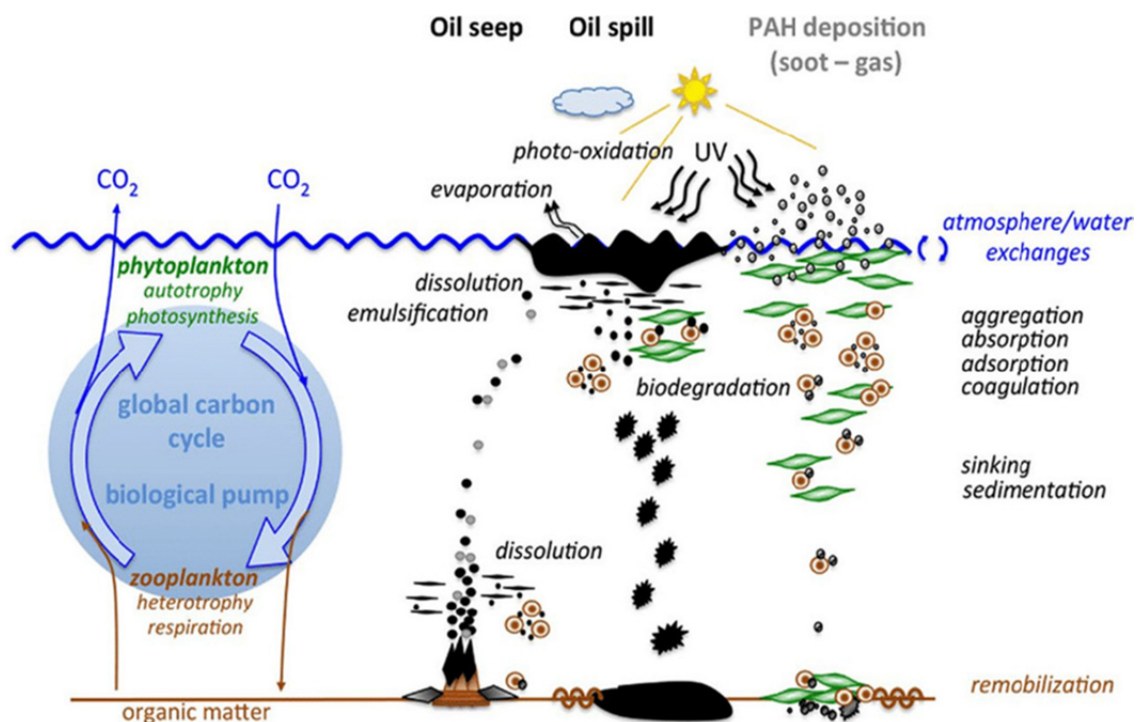


Fig. 2. Scheme of oil seepage into the soil

## Conclusion

The study estimated the number of TEs present in the upper part, Soils in and around the automotive workshop environment, the soil is contaminated with Cd and Pb and is non-cancer related. Effects on children with long-term exposure to Pb. Workers' attitudes towards vehicle maintenance and repair, as well as their carelessness and improper disposal of waste, are the main causes.

The activities significantly contribute to soil pollution, which can leach into surface and groundwater environments, causing adverse impacts.

Environment and adverse health effects. To prevent the spread of this hazardous element, automotive workshops should be located away from residential areas and soil bioremediation is possible to clean up already contaminated soil [6]

Attitudes towards vehicle maintenance and repair, as well as their carelessness and improper disposal of waste, are the main causes. Contamination of soil that can wash off the surface and groundwater does not enter the environment, which causes negative effects on the environment and harmful effects on health. In order to avoid. To spread this hazardous element, automotive workshops should be located away from residential areas and bioremediation is possible.

It is used to clean already contaminated soil.

## References

- [1] Santana Derielsen Brandão, Rios Guilherme Da Silva, Lense Guilherme Henrique Expedito, Rubira Felipe Gomes, Franceschi Flávio Roberto Araújo, Spalevic Velibor, Ayer Joaquim Ernesto Bernardes, Mincato Ronaldo Luiz. Soil and organic carbon losses by water erosion in coffee-growing areas in southern Minas Gerais, Brazil. // *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, Vol. 48, No. 3, Article 1, 2024. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3184>  
Available at: <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol48/iss3/1>
- [2] Amiranashvili A., Bliadze T., Kartvelishvili L. Statistical Characteristics of Monthly Sums of Atmospheric Precipitations in Tianeti (Georgia) in 1956-2015. // *Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics*, ISSN 1512-1135, vol. 70, Tb., 2019, pp. 112-118, (in Russian), <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/254>;
- [3] Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Kutaladze N.B., Megrelidze L.D., Tatishvili M.R. Changeability of the Meteorological Parameters Associated with Holiday Climate Index in Different Mountainous Regions of Georgia in 1956-2015. // *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 24(2), 2021, pp. 78-91. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420213326>
- [4] Chkhitunidze M., Matiashvili S., Kereselidze Z., Diffuse model of time change of soil pollution. // International scientific conference "Modern problems of ecology". Kutaisi, Georgia, September 21-22, 2018.
- [5] Palstzky A., Bergmann W. Ein Beitrag zur Reduzierung von Zinküberschuss-Schaden auf einem mit Zink kontaminierten Boden. // *Arch. Phytop. Pflanzenschutz*, 1979, Bd. 15. N2.S.131.
- [6] Chankseliani Z., Zardalishvili O. Ecological principles of agrochemistry. // (book). Tbilisi, 1992, 107 p.

## HARNESSING HAVOK AND MACHINE LEARNING FOR COSMIC RAY FORECASTING

\*Takadze G., \*\*Larry D., \*\*Wascak J.

\*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia

\*\*University Texas at Dallas

**Abstract.** This research explores an innovative approach to forecasting cosmic ray activity by integrating the HAVOK model with machine learning algorithms. The study uses data from the Tbilisi Cosmic Rays Observatory, spanning from 2012 to 2020. The focus is on analyzing chaotic systems, including the Lorenz and Mackey-Glass models, to validate the HAVOK-ML method for predicting cosmic ray flux. The results demonstrate the method's potential to enhance space weather forecasts, with broader applications in predicting solar activity, supernovae, gamma-ray bursts, and air quality monitoring. The model is implemented using Python, Julia, and machine learning frameworks like Keras.

**Keywords:** HAVOK model, Space weather, Lorenz system, Mackey-Glass system, Chaos theory, Time series prediction, Air quality, Solar activity, Supernovae, Python, Julia, Keras.

### Introduction

Cosmic rays, high-energy atomic nuclei that travel through space at nearly the speed of light, provide crucial insights into various cosmic phenomena such as supermassive black holes, exploding stars, and the chemical and physical makeup of the universe. These rays, predominantly originating from supernova explosions, interact with Earth's atmosphere, creating secondary particles that can be detected and analyzed. Understanding and predicting the behavior of cosmic rays is essential for advancing our knowledge of space weather and its impact on technology and communications. This research aims to improve cosmic ray activity forecasts by combining the HAVOK model with machine learning algorithms. The HAVOK model is a data-driven method that decomposes complex time series data into simpler, interpretable components, while machine learning learns from historical data, identifies patterns, and improves forecast accuracy. Together, these approaches provide a powerful tool for analyzing chaotic systems and enhancing the prediction of cosmic ray behavior. The HAVOK-ML method employs the Singular Value Decomposition (SVD) of Hankel matrices to identify dominant modes within a system, constructing a low-dimensional model that simplifies the analysis of future states. By applying this method to well-known chaotic systems such as the Lorenz system, the study demonstrates its effectiveness in predicting cosmic ray activity. The data used in this research, sourced from the Tbilisi Cosmic Rays Observatory, spans from 2012 to 2020 and includes cosmic ray interactions captured by a 9-channel detector. These data, combined with advanced programming techniques using Python, Julia, and machine learning frameworks such as Keras, are instrumental in the implementation of the HAVOK-ML method.

### The purpose of task

The purpose of this research is to develop an enhanced method for predicting cosmic ray activity by combining the HAVOK model with machine learning algorithms. This approach aims to improve the accuracy of forecasts related to space weather phenomena, particularly the impact of cosmic ray flux on Earth's magnetic field and atmosphere. As cosmic rays interact with Earth's magnetic field, they are often deflected, though higher-energy cosmic rays can penetrate near the magnetic poles, particularly during periods of geomagnetic storms caused by solar flares and coronal mass ejections (CMEs). Understanding

these interactions is crucial, as fluctuations in Earth's magnetic field over time can influence cosmic ray penetration, impacting atmospheric chemistry, cloud formation, and climate. By analyzing chaotic systems and utilizing data from the Tbilisi Cosmic Rays Observatory, this study seeks to demonstrate the effectiveness of the HAVOK-ML method, with broader applications in predicting solar activity, supernovae, geomagnetic field reversals, and their effects on space weather and air quality

## Results

Our results demonstrate the successful application of the HAVOK-ML method on both the Lorenz and Mackey-Glass time series. The predictions generated by our model align closely with the actual data, indicating the effectiveness of this hybrid approach in predicting chaotic systems. The code for this process was developed in Python, incorporating functions with parameters tailored for each system, including the Lorenz and Mackey-Glass systems.

1. **Lorenz System Training Data:** The first figure shows the training data for the Lorenz system, with variables  $x$ ,  $y$ , and  $z$  represented in different colors. The model was trained on this data to predict the system's future states. The consistency between the original and predicted data underscores the accuracy of the HAVOK-ML method.
2. **Mackey-Glass Chaotic Series Training Data:** The second figure illustrates the training data for the Mackey-Glass chaotic series. This system is widely used for testing predictions in nonlinear and chaotic systems. The HAVOK-ML method, trained on this data, successfully captured the behavior of the system, as evidenced by the alignment between predictions and actual data.
3. **Cosmic Ray Training Data:** The third figure presents the cosmic ray training data, which consists of both uncorrected and corrected cosmic ray counts. This data, collected from the Tbilisi Cosmic Rays Observatory, was used to further tailor the model for predicting cosmic ray activity. By using real-world cosmic ray data from 2012 to 2020, we ensured that our predictions were grounded in observed phenomena.
4. **HAVOK-ML Prediction of Lorenz Time Series using Cosmic Rays:** The final figure showcases the prediction of the Lorenz time series using cosmic ray data as the training set. The orange line represents the predicted data, which aligns closely with the original data, illustrating the model's accuracy in handling complex and chaotic time series like the Lorenz system, when trained on real-world cosmic ray observations.

These results highlight the robust predictive capabilities of the HAVOK-ML method, with extensive applications in forecasting cosmic ray flux. The model's accuracy in predicting chaotic systems has broad implications for space weather forecasting, including predicting the effects of cosmic rays on satellites, astronauts, and communication systems, as well as solar activity and air quality monitoring.

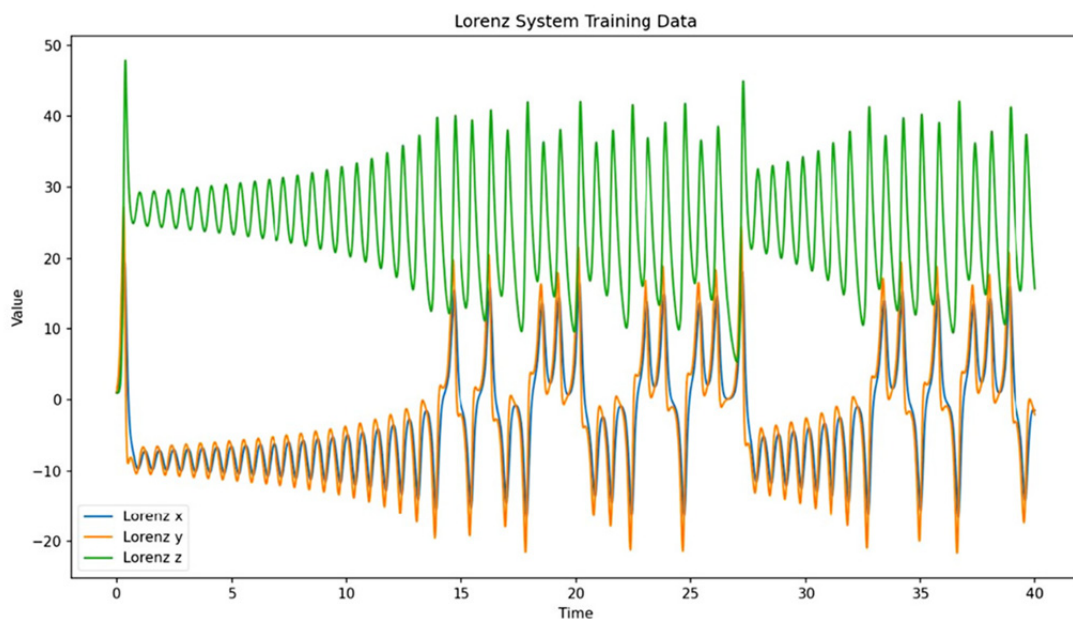


Figure 1.



Figure 1. The first figure, labeled “**Lorenz System Training Data**”, shows the time series of the Lorenz system's three variables:  $x$  (blue),  $y$  (orange), and  $z$  (green). These variables represent the three-dimensional state space of the Lorenz attractor, a well-known chaotic system often used in studies of nonlinear dynamics and chaos theory. The graph shows how the Lorenz system exhibits deterministic chaos, where small differences in initial conditions lead to vastly different trajectories over time. The training data from this chaotic system is used to predict future states of the system through the HAVOK-ML method. The close interaction of the three variables highlights the complex nature of the Lorenz system, making it an ideal candidate for testing the predictive power of the model

## The purpose of the research

The purpose of this research is to develop an enhanced method for predicting cosmic ray activity by combining the HAVOK model with machine learning algorithms. This approach aims to improve the accuracy of forecasts related to space weather phenomena, particularly the impact of cosmic ray flux on Earth's magnetic field and atmosphere. Understanding these interactions is crucial, as cosmic rays interact with Earth's magnetic field, are deflected, and have varying degrees of penetration based on their energy and solar activity. By analyzing chaotic systems and utilizing data from the Tbilisi Cosmic Rays Observatory, this study seeks to demonstrate the effectiveness of the HAVOK-ML method, with broader applications in predicting solar activity, supernovae, geomagnetic field reversals, and their effects on space weather and air quality. The data used in this research is sourced from the Tbilisi Cosmic Rays Laboratory, which collects cosmic ray information using a 9-channel detector system. The information gathered is processed through connected devices and uploaded to global servers for further analysis. The current equipment is undergoing modernization, where traditional electronics will be replaced with advanced microprocessors. Once fully upgraded, these new systems will autonomously process data and automatically upload it to global servers, offering real-time insights. This advanced setup ensures that the predictions are based on accurate and up-to-date cosmic ray data. The combination of the HAVOK model with machine learning leverages this data to improve forecast accuracy, enabling predictions of cosmic ray activity with applications in space weather, satellite safety, communication systems, and even air quality monitoring. The ultimate goal is to create a predictive framework that helps mitigate the effects of cosmic rays on Earth's technological and environmental systems.



**Fig. 1. Existing electronics, a detector with 9 channels, from which information is sent to the computer**



**Fig 2. Raspberry pi**

Electronics and software that are in the process of being updated give us a number of simplification results. In autonomous mode, it will be possible to build graphs, upload to a global server, remote access from any place and most importantly, it allows for future updates both in terms of software and electricity.

## Summary

Cosmic rays, originating from cosmic events, influence Earth's climate by ionizing the atmosphere and creating cloud condensation nuclei (CCN), which affect cloud formation and temperature. These interactions are further influenced by fluctuations in the Earth's geomagnetic field, which can modulate cosmic ray

intensity and impact the climate over decadal timescales. Understanding the complex relationship between cosmic rays, the geomagnetic field, and climate is crucial and requires more advanced research. To support this research, the Tbilisi Cosmic Ray Laboratory is undergoing significant hardware and software upgrades. These improvements will enable more accurate and autonomous data processing of cosmic ray activity, facilitate transmission to global servers, and provide remote access for future studies. By upgrading the laboratory's technology, researchers aim to better analyze the interactions between cosmic rays, Earth's magnetic field, and climate. This research seeks to develop and refine a predictive model for cosmic ray activity by combining the HAVOK model with machine learning algorithms. The hybrid approach will enhance the understanding of space weather phenomena and improve the accuracy of forecasting cosmic ray flux. By applying this method to chaotic systems and utilizing data from the Tbilisi Cosmic Rays Observatory, the study aims to demonstrate the HAVOK-ML method's practical applications in mitigating the effects of space weather on satellites, communication systems, and air quality monitoring.

## **Referenses**

- [1] Data from the Tbilisi Cosmic Ray Laboratory.
- [2] A Hybrid Method Using HAVOK Analysis and Machine Learning for Predicting Chaotic Time Series



## მაიონიზებული რადიაციის ზემოქმედებით გამოწვეული კოგნიტური პარამეტრების ცვლილებების ასტრობიოლოგიური ასპექტები

უჩანეიშვილი ს., კალმახელიძე ს., ავალიშვილი ა., ივანიშვილი ნ., გოგებაშვილი მ.

ივანე ბერიტაშვილის ექსპერიმენტული ბიომედიცინის ცენტრი, თბილისი, საქართველო

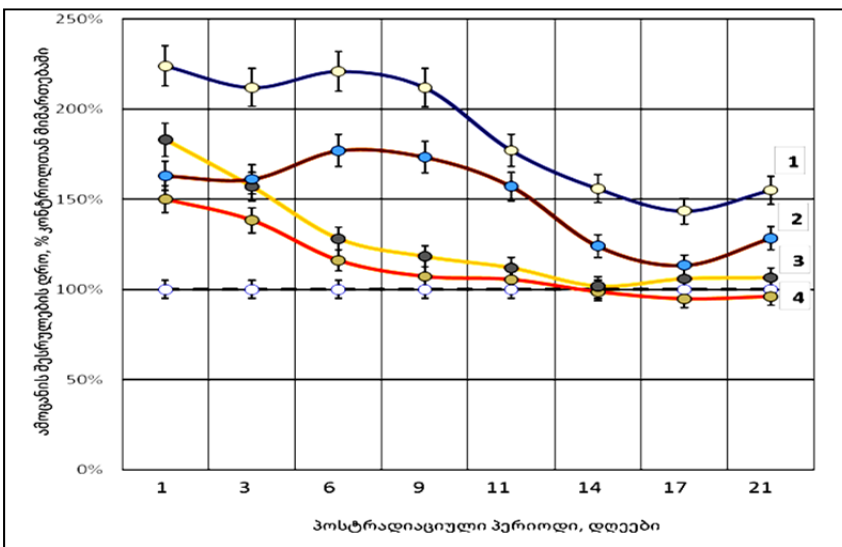
**ანოტაცია:** ნაშრომში განხილულია მაიონიზებული რადიაციის ზემოქმედებით გამოწვეული კოგნიტური პარამეტრების ცვლილებებთან დაკავშირებული რისკების მნიშვნელობა შორეულ კოსმოსში ასტრონავტიკის ხანგრძლივად ყოფნის პროექტების დაგეგმარებისთვის. მოდელის სახით გამოყენებული იყო გამა-რადიაციით დასხივებული ლაბორატორიული თეთრი თაგვები (დასხივების წყარო –  $^{137}\text{Cs}$ ). კოგნიტური პარამეტრების დადგენა ხორციელდებოდა „მორისის წყლის ავზის“ სტანდარტული მეთოდის გამოყენებით. გაკეთებულია დასკვნა, რომ სივრცითი მეხსიერების ფორმირება დოზა-დამოკიდებულ პროცესს წარმოადგენს, რომელიც განსხვავდება დატრენინგებულ და დაუტრენინგებელ თაგვებში. პოსტრადიაციულ პერიოდში ადრე მიღებული ინფორმაციის შენახვა უფრო სტაბილურ ხასიათს ატარებს (რადიორეზისტენტულია), ვიდრე ახალი ინფორმაციის მიღება. ეს ფენომენი აქტუალურს ხდის, რადიაციული ფონის პირობებში, ნეიროპროტექტორული ბუნების პრეპარატების გამოყენებას ასტრონავტიკებთან მიმართებაში.

**საკვანძო სიტყვები:** გამა-რადიაცია, ლაბორატორიული თაგვები, კოგნიტური უნარები, ასტრობიოლოგია

კოსმონავტიკის განვითარება განაპირობებს მრავალი ინოვაციური ტექნოლოგიის გამოვლენას მეცნიერების სხვადასხვა სფეროში [1,2]. აღნიშნულის პარალელურად, კოსმოსის ათვისების პროექტების განხორციელებისას, ჩნდება ახალი ამოცანების გადაწყვეტის აუცილებლობა. XXI საუკუნის ერთ-ერთ ამბიციურ პროექტად შეიძლება ჩაითვალოს შორეული კოსმოსის შესწავლის საკითხი, მათ შორის, მთვარისა და მარსის ათვისება-კოლონიზაცია [3,4]. ახალი თაობის საფრენი აპარატების შექმნის მნიშვნელოვანი ნარმატებების ფონზე, საყურადღებოა რადიაციული ზემოქმედებისგან ასტრონავტიკების დაცვის პრობლემა. კოსმოსში არსებობს მაიონიზებული გამოსხივების რამდენიმე წყარო; კერძოდ, მზე უწყვეტად ასხივებს სხვადასხვა სიგრძის ელექტრომაგნიტურ ტალღას. ზოგჯერ, მზის ზედაპირზე აფეთქებების შედეგად, გამა-რადიაციის დიდი რაოდენობა გამოიყოფა კოსმოსში. სწორედ ეს მოვლენა უქმნის საფრთხეს კოსმონავტიკებსა და კოსმოსური აპარატების აღჭურვილობას [5]. არანაკლებ საშიში რადიაცია შეიძლება მოხვდეს კოსმოსში მზის სისტემის ფარგლების გარედან, გალაქტიკური გამოსხივების წყაროს მუდმივად მოქმედი ფორმის სახით [6]; აპარატის ზონდირების განხორციელებისა და კოსმოსური ობიექტების შესწავლისათვის თუ საკმარისი იყო მხოლოდ ტექნიკური პრობლემების გადაწყვეტა, შორეულ კოსმოსში ადამიანის ხანგრძლივად ყოფნის პროექტების დაგეგმარებისას, რადიაციული ზემოქმედების საკითხის კვლევა პირველხარისხოვან მნიშვნელობას იძენს. სხვადასხვა მედიკო-ბიოლოგიურ პროცესებს შორის, რომელთა ცვლილებებმა შეიძლება გავლენა მოახდინონ ასტრონავტიკების ჯანმრთელობასა და შრომისუნარიანობაზე, განსაკუთრებული ადგილი მიეკუთვნება რადიაციულ ზემოქმედებას, მათ ფსიქოემოციურ მდგომარეობასა და კოგნიტურ უნარებზე. შორეულ კოსმოსში კოსმონავტიკების მიერ სხვადასხვა ამოცანის შესრულება დაკავშირებულია რადიაციული ზემოქმედების რისკებთან, საფრთხეს უქმნის მათ ცენტრალურ ნერვულ სისტემას შემეცნებითი ქმედებების, მოძრაობისა და ქცევითი ფუნქციების დარღვევების გზით, რაც, თავის მხრივ, აისახება ასტრონავტიკების ემოციურ მდგომარეობაზე [7,8]. ეს უკანასკნელი ფენომენი უარყოფით გავლენას ახდენს კოსმოსური მისიის ნარმატებასა და გადასაწყვეტი ამოცანების საბოლოო შედეგებზე.

კოსმოსური რადიაციის ასტრობიოლოგიური ეფექტების მოდელირების მიზნით, ჩვენს მიერ გამოყენებული იყო ლაბორატორიული თეთრი თაგვების მწვავე გამა-დასხივების შედეგად მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემები. ცხოველების დასხივება ხორციელდებოდა გამა-დანადგარზე, სადაც დასხივების წყაროს წარმოადგენდა რადიოიზოტოპი –  $^{137}\text{Cs}$ . დოზის სიმძლავრე შეადგენდა – 1,1 ზივერტი/წთ. დასხივებული საცდელი ცხოველების კოგნიტური და ქცევითი პარამეტრების შესწავლა ემყარებოდა „მორისის წყლის ავზის“ სტანდარტული მეთოდის გამოყენებას.

საცდელი ცხოველები დაიყო 5 ჯგუფად: 1-4 ზივერტი დოზით დასხივებული დაუტრენინგებელი ცხოველების ჯგუფი; 2-4 ზივერტი დოზით დასხივებული დატრენინგებელი ცხოველების ჯგუფი; 3-2 ზივერტი დოზით დასხივებული დაუტრენინგებელი ცხოველების ჯგუფი; 4-4 ზივერტი დოზით დასხივებული დატრენინგებელი ცხოველების ჯგუფი; 5- საკონტროლო ცხოველების ჯგუფი. კვლევის მიზანს წარმოადგენდა მწვავე რადიაციის ზემოქმედების შესწავლა თეთრი თაგვების კოგნიტურ ფუნქციებზე, კერძოდ, სივრცითი მეხსიერების ფორმირების უნარზე სხვადასხვა პოსტრადიაციულ პერიოდში.



**სურ. 1.** მწვავე გამა-რადიაციის გავლენა სივრცული მეხსიერების ფორმირებაზე  
 1-4 ზივერტი დოზით დასხივებული დაუტრენინგებელი ცხოველების ჯგუფი; 2-4 ზივერტი დოზით დასხივებული დატრენინგებელი ცხოველების ჯგუფი;  
 3- 2 ზივერტი დოზით დასხივებული დაუტრენინგებელი ცხოველების ჯგუფი; 4-4 ზივერტი დოზით დასხივებული დატრენინგებელი ცხოველების ჯგუფი,  
 (საკონტროლო ვარიანტი აღნიშნულია პუნქტირით)

ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები წარმოდგენილია 1-ელ სურათზე, საიდანაც ჩანს შესასწავლი ეფექტების მკვეთრი დოზური დამოკიდებულება. 4 ზივერტი დოზით დასხივებული საკვლევი ცხოველების ჯგუფი, ტრენინგის ფორმისგან დამოუკიდებლად, ხასიათდება კოგნიტური უნარების დაქვეითების უმაღლესი დონით. კვლევის შედეგების თანახმად, როგორც საკონტროლო, ასევე 2 ზივერტი დოზით დასხივებული ექსპერიმენტული ცხოველების ორივე ჯგუფი ბაქანის მოსაძებნად სარწმუნოდ მცირე დროს (წამები) ხარჯავს პოსტრადიაციული პერიოდის მე-14, მე-17 და 21-ე დღეს. რაც შეეხება 4 ზივერტი დოზით დასხივებული დატრენინგებული თაგვების ჯგუფს (მე-2 ჯგუფი), პოსტრადიაციული პერიოდის მე-17 დღეს უახლოვდება საკონტროლო ჯგუფის მონაცემს, მაგრამ 21-ე დღეს ბაქანის მოსაძებნად საჭირო დრო სტატისტიკურად სარწმუნოდ იზრდება, ხოლო 4 ზივერტი დოზით დასხივებული დაუტრენინგებული თაგვების ჯგუფში (I ჯგუფი), პოსტრადიაციული პერიოდის ყველა ვადაზე, ბაქანთან მისასვლელი დრო მკვეთრად განსხვავდება საკონტროლო ჯგუფის მაჩვენებლისგან. ლიტერატურული მონაცემები ცხადყოფენ, რომ ნეიროდეგენერაციული დაავადებებისა და კოგნიტური უნარების დაქვეითების მზარდი სტატისტიკის ერთ-ერთ მიზეზად შესაძლოა კოსმოსური წარმოშობის რადიაცია მოგვევლინოს. სიმულაციური კოსმოსური დასხივება საცდელ ცხოველებში იწვევს ცენტრალური ნერვული სისტემის დაზიანებას, მათ შორის, ნეიროგენეზის დათრგუნვას, ნეირონების ელექტროფიზიოლოგიური პარამეტრების ცვლილებას და ქრონიკული ნეირონების განვითარებას [9]. შესაბამისად, ეს ცვლილებები განაპირობებენ ქცევის დარღვევასა და კოგნიტური უნარების დაქვეითებას [10].

კვლევის შედეგად მიღებული მონაცემები ცხადყოფენ, რომ სივრცითი მეხსიერების ფორმირება დოზა-დამოკიდებულ პროცესს წარმოადგენს, ასევე მაღალი დოზის შემთხვევაში ეს პროცესი განსხვავდება დატრენინგებულ და დაუტრენინგებელ თაგვებში, თუმცა ორივე ვარიანტში სტატისტიკურად სარწმუნოდ განსხვავდება საკონტროლო ჯგუფის მონაცემისგან: მწვავე დასხივება შემოქმედებას ახდენს სივრცითი მეხსიერების ფორმირების უნარზე, თუმცა დატრენინგებული თაგვების შემთხვევაში ეს ფენომენი ნაწილობრივ შენარჩუნებულია.

ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ პოსტრადიაციულ პერიოდში ადრე მიღებული ინფორმაციის შენახვა უფრო სტაბილურ ხასიათს ატარებს (რადიორეზისტენტულია), ვიდრე ახალი ინფორმაციის მიღება. ეს ფენომენი აქტუალურს ხდის, რადიაციული ფონის პირობებში, ნეიროპროტექტორული ბუნების პრეპარატების გამოყენებას ასტრონავტებთან მიმართებაში.

## ლიტერატურა

- [1] Szajnfarber Z. Space science innovation: How mission sequencing interacts with technology policy. // Space Policy, Volume 30, Issue 2, 2014, Pp. 83-90.
- [2] Ong J., Waisberg E., Masalkhi M., Suh A., Kamran Sh.A, Paladugu P., Sarker P., Zaman N., Tavakkoli A., Lee A.G. Spaceflight-to-Eye Clinic: Terrestrial advances in ophthalmic healthcare delivery from space-based innovations. // Life Sciences in Space Research, Volume 41, 2024, pp. 100-109.
- [3] Szocik K., Wójtowicz T., Baran L. War or peace? The possible scenarios of colonising Mars. // Space Policy, Volume 42, 2017, Pages 31-36.
- [4] Lunan D. The Moon: Resources, Development and Colonization: Bonnie Cooper, David Schunk, Burton Sharpe and Madhu Thangavelu; John Wiley, New York, 1999. // Space Policy, Volume 17, Issue 4, November 2001, pp. 303-305.
- [5] Huff J.L. et al. Galactic cosmic ray simulation at the NASA space radiation laboratory – Progress, challenges and recommendations on mixed-field effects. // Life Sciences in Space Research, Volume 36, 2023, pp. 90-104.
- [6] Slack K.J., Williams T.J., Schneiderman J.S. et al. Evidence Report: Risk of Adverse Cognitive or Behavioral Conditions and Psychiatric Disorders. // NASA: Houston, 2016.
- [7] Nelson G.A., Simonsen L., Huff J.L. Evidence Report: Risk of Acute and Late Central Nervous System Effects from Radiation. Exposure. // NASA: Houston, 2016.
- [8] Cucinotta F.A. Review of NASA approach to space radiation risk assessments for Mars exploration. // Health Physics, Vol. 108. No 2, 2015, pp. 131–142.
- [9] Parihar V. K., Angulo M. C., Allen B. D., Syage A., Usmani M. T., Passerat de la Chapelle E., et al. Sex-specific cognitive deficits following space radiation exposure. // Front. Behav. Neurosci. 14, 2020, 535885.
- [10] Cekanaviciute E., Rosi S., Costes S. V. Central nervous system responses to simulated galactic cosmic rays. Int. J. Mol. Sci. 19, 2018, 3669

## ASTROBIOLOGICAL ASPECTS OF IONIZING RADIATION-INDUCED COGNITIVE IMPAIRMENTS

**Uchaneishvili S., Kalmakhelidze S., Avalishvili A., Ivanishvili N., Gogebashvili M.**

**Abstract.** *The article discusses the significance of the risks associated with ionizing radiation-induced cognitive impairments for planning long-term astronaut stay projects in space. The study used a model of Gamma-irradiated laboratory white mice (irradiation source – <sup>137</sup>Cs). Cognitive parameters were evaluated using the standard method of the Morris Water Maze. Study results show that spatial learning and memory formation is a dose-dependent process and results vary in trained and nontrained animals. The post-radiation period showed that the storage of information is more stable (radioresistant) than the process of acquiring new information. This finding is crucial for developing neuroprotection measures for astronauts exposed to radiation.*

**Key words:** *gamma-irradiation, laboratory mice, cognitive performance, astrobiology.*

## ფიზიკურ-გეოგრაფიული ფაქტორების როლი გულ-სისხლძარღვთა დაავადებების სივრცე-დროით გავრცელებაში

სეფერთელაძე ზ., დავითაია ე., ალექსიძე თ., რუხაძე ნ.

ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. თბილისი, საქართველო

**ანოტაცია.** ჯანმრთელობის დაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის განსაზღვრებით, ჯანმრთელობაში იგულისხმება არა მხოლოდ დაავადებათა და ფიზიკური დეფექტების არარსებობა, არამედ სულიერი და სოციალური კეთილდღეობა. მისივე შეფასებით, მოსახლეობის ჯანმრთელობის მდგომარეობა 50%-ით დამოკიდებულია ცხოვრების წესზე, 20%-ით – გენეტიკურ ფაქტორებზე, 10%-ით – ჯანდაცვის სამსახურის მუშაობაზე და 20%-ით – გარემოს მდგომარეობაზე.

ადამიანი და ბუნებრივი გარემო მჭიდრო ურთიერთკავშირშია. ამიტომ, ადამიანის ჯანსაღი ცხოვრება ბუნების მდგომარეობითაა განპირობებული. აქედან გამომდინარე, ადამიანი და ბუნებრივი გარემო მჭიდრო ურთიერთკავშირშია და აქტუალური და საინტერესოა ადამიანის ჯანმრთელობაზე გარემო პირობების გავლენის შესახებ ცოდნის მიღება, რომელიც სამედიცინო ასპექტების შესწავლას მოითხოვს. სწორედ ავადმყოფობასა და გარემო პირობებს შორის კავშირების არსებობის შედეგად წარმოიშვა მეცნიერების ახალი დარგი – სამედიცინო გეოგრაფია, რომელიც შეისწავლის ადამიანის დაავადებათა და პათოლოგიურ მდგომარეობათა გეოგრაფიული გავრცელების მიზეზებს, გარემოს გავლენას ჯანმრთელობაზე, ამუშავებს სამედიცინო-გეოგრაფიული რუკების შედგენის მეთოდებსა და პრინციპებს და სხვ. სამედიცინო-გეოგრაფიული კვლევა სამუალებას იძლევა სხვადასხვა ტერიტორიებისათვის წინასწარ გავითვალისწინოთ ადამიანის ორგანიზმზე გარემოს გარდაქმნის შედეგად წარმოქმნილი, ახალი ბუნებრივ-ტერიტორიული კომპლექსების ზემოქმედების ხასიათი და შედეგები.

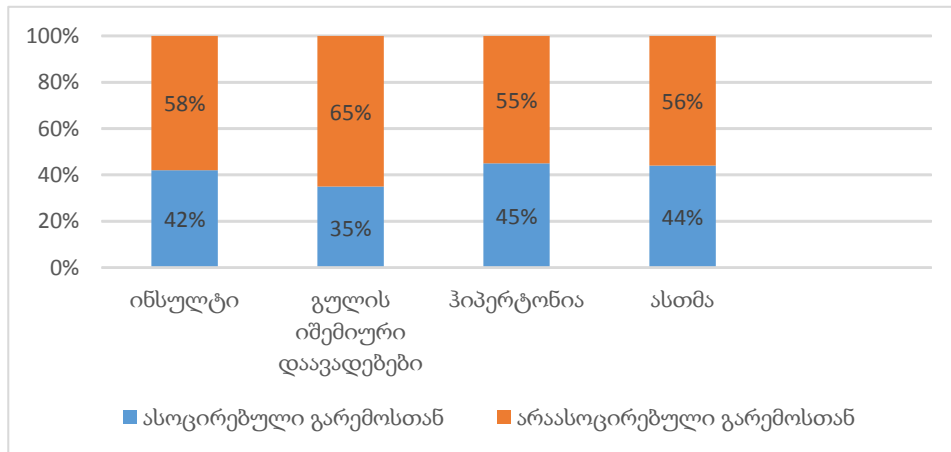
**საკვანძო სიტყვები.** ადამიანი და ბუნებრივი გარემო, სოციალური კეთილდღეობა, სამედიცინო გეოგრაფია, ფიზიკურ-გეოგრაფიული ფაქტორები, გარემოს მდგომარეობა.

**შინაარსი.** ამჟამად გავრცელებულ დაავადებათა უმეტესობის წარმოშობა და გავრცელება, პირდაპირ კავშირშია გარემოსა და სოციალურ ფაქტორებთან. მათ შორისაა ავთვისებიანი (ფილტვის, საჭმლის მომნელებელ ორგანოთა, კანის) სიმსივნეები, გულ-სისხლძარღვთა დაავადებები (მიოკარდის ინფარქტი, ჰიპერტონია), ბიოქიმიური ენდემები (ჩიყვი, კენჭოვანი დაავადებები, კარიესი), პარაზიტული და ტროპიკული დაავადებები (Сулхანიшвили, 1970) და სხვ. ცხელი ჰავისა და მაღალი ტენიანობის პირობებში (ჭაობები) მაღარია კოლხეთში ფართოდ გავრცელებულია. ჭაობების დაშრობის შედეგად ეს დაავადება ლიკვიდირებულია (სქ. 1).

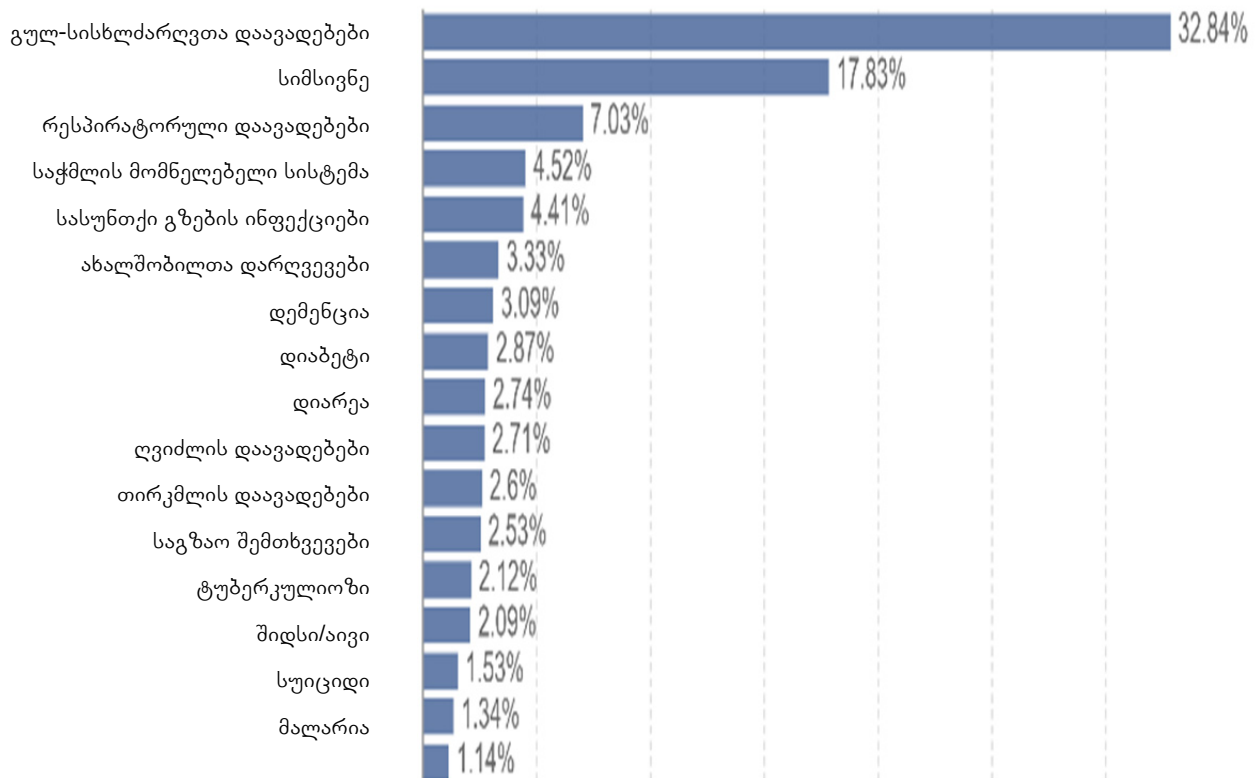
სამედიცინო-გეოგრაფიული კვლევა, ბუნებრივია, გვერდს ვერ აუვლის გულ-სისხლძარღვთა დაავადებისა და გარემოს ურთიერთკავშირს, მითუმეტეს, რომ ამ დაავადებაზე მოდის მსოფლიო მასშტაბით, სიკვდილიანობის 72% და ეს კავშირი სწორედ რომ, თვალსაჩინოა (სქ. 2).

ადამიანების ჯანმრთელობაზე ზემოქმედ ფიზიკურ-გეოგრაფიულ ფაქტორთა შორის, ერთ-ერთი მნიშვნელოვანია ადგილის რელიეფი (ჰიფსომეტრული სიმაღლე, ექსპოზიცია და დახრილობა); კლიმატური პირობები (ტემპერატურა, ტენიანობა, წნევის ცვალებადობა, მზის სხივების ინტენსივობა) და სხვ. დადგენილია (Вашалова Т. В. Петрова Е. Г. 2002) კავშირი გულ-სისხლ-ძარღვთა დაავადებებსა და ადგილის სიმაღლეს შორის. კერძოდ, ადამიანის ორგანიზმში ნივთიერებათა ცვლის პროცესის და ფიზიოლოგიური ფუნქციის ცვლილება (აკლიმატიზაცია) მაღალმთიან პირობებში

(1800-2700 მ), აფერხებს ჰიპერტონიის მსუბუქი ფორმის განვითარებას, მძიმე ფორმის შემთხვევაში პირიქით, ამავე სიმალეებზე ჰიპერტონია მწვავედ მიმდინარეობს (Джакин С. 2002).



სქ. 1. დაავადებების გარემო ფაქტორებთან ასოცირების სიმძლავრე, 2012.

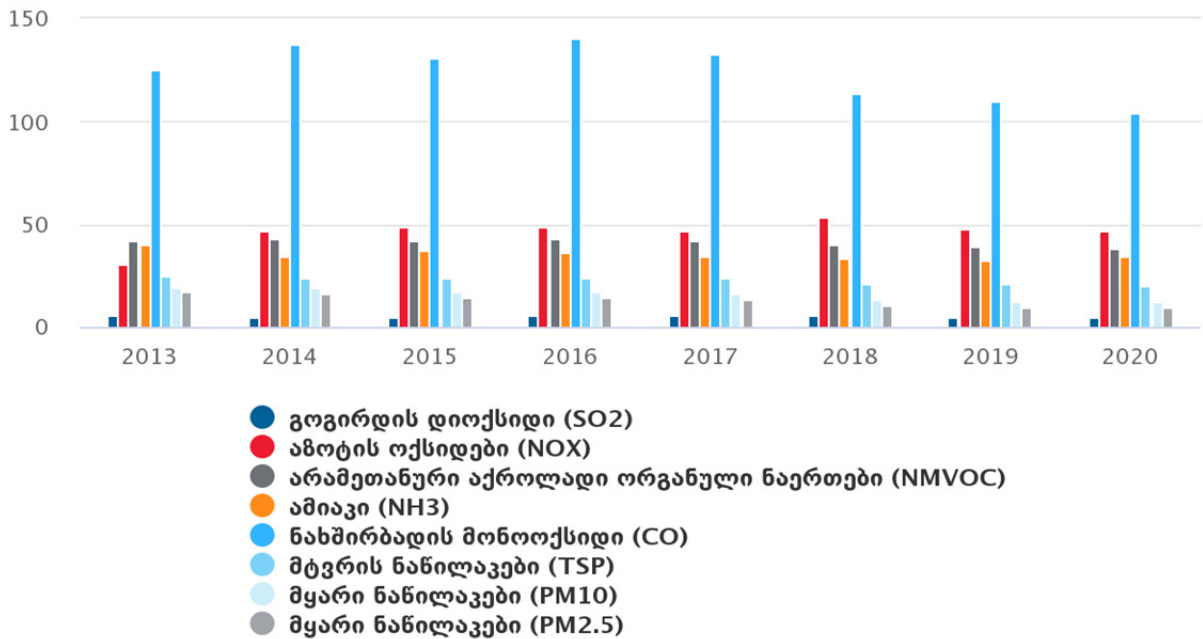


სქ. 2. გარდაცვალების ძირითადი მიზეზები მსოფლიოში, 2019 წ.

ძალზე საინტერესო მასალებია მოპოვებული მსოფლიო ლიტერატურაში იმის შესახებ, რომ გულ-სისხლძარღვთა დაავადებების დონე და რაოდენობა კავშირშია საცხოვრებელი ტერიტორიის ამგები გეოლოგიური ქანების სიძველესა და შემადგენლობასთან: მაღალია ეს მაჩვენებელი ძველი, კამბრიუმამდელი ქანების გავრცელების ზონაში და შედარებით დაბალია, ახალგაზრდა ნაოჭა სისტემების ზონაში.

ასევე მნიშვნელოვანია გულ-სისხლძარღვთა დაავადებების წარმოშობასა და მიმდინარეობაზე, მაკრო და მიკრო ელემენტების ზემოქმედება, რომელიც რამდენიმე გზით ხორციელდება და ძირი-

თადად, ბუნებრივი ფიზიკურ-გეოგრაფიული ფაქტორების (სასმელი წყლის და ნიადაგის) ზემოქმედებით (სქ. 3).



სქ. 3. ???

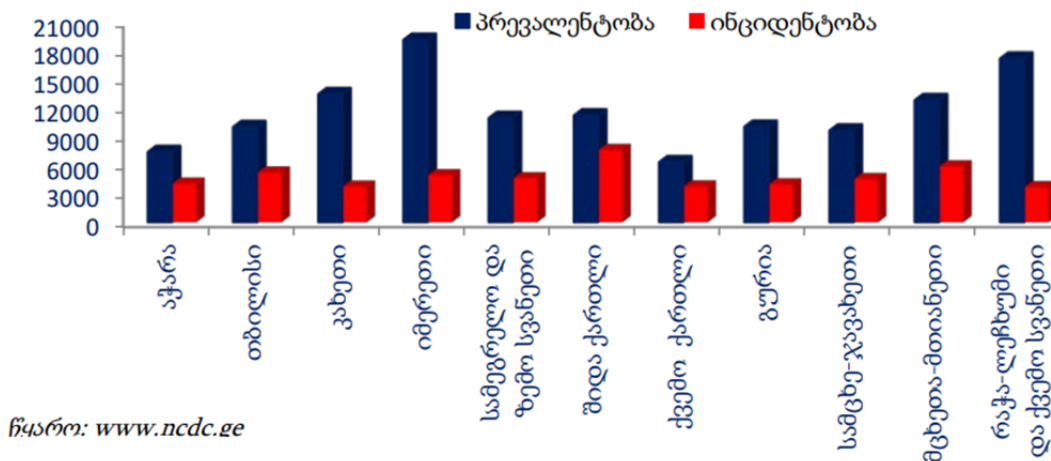
საქართველოში, ატმოსფერულ ჰაერში გაფრქვეული მავნე ნივთიერებებიდან ყველაზე მეტი ხვედრითი წილი ნახშირბადის მონოოქსიდზე (CO) მოდის, საქსტატის მონაცემებზე დაყრდნობით მისი რაოდენობა 2020 წელს 2015 წელთან შედარებით, დაახლ. 37 000 ტონით შემცირდა (სქ. 4 ).



სქ. 4. მიკრობიოლოგიური შეუსაბამობები სასმელ წყალში რეგიონების მიხედვით

2018 წლის მონაცემებით, საქართველოში გულ-სისხლძარღვთა დაავადებების წილი საერთო სიკვდილიანობაში თითქმის 62%-ია. აღნიშნული დაავადებების ყველაზე მაღალი მაჩვენებელი იმერეთშია, შემდეგ რაჭა-ლეჩხუმი და ქვემო სვანეთში (სქ. 5.). აღნიშნული ფაქტი დაავადებათა კონტროლის და საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის ეროვნული ცენტრის ანგარიშში, ახსნილია რეგიონის მოსახლეობის სქესობრივ-ასაკობრივი სტრუქტურითა და დაბერებით.





სქ. 5. გულ-სისხლძარღვთა დაავადებების გავრცელება რეგიონების მიხედვით, 2018

ამდენად, ადამიანის ჯანმრთელობაზე ზემოქმედი ბუნებრივი პირობები შეიძლება 5 ჯგუფად დაიყოს: 1. ინდიფერენტული – ამინდის ცვლილება არავითარ ზეგავლენას არ ახდენს ადამიანის ორგანიზმზე; 2. მატონიზირებელი – ამინდის ცვლილება ადამიანზე მოქმედებს საგრძნობლად, რაც გამოხატება ჟანგბადის უკმარობით, არტერიული ჰიპოტენზიით, გულის იშემიით და ქრონიკული ბრონქიტით; 3. სპაზმური – ამინდის მკვეთრად შეცვლა აცივებით, როცა მატულობს ატმოსფერული წნევა და ჰაერში ჟანგბადის შემცველობა, ჰიპერტენზიით დაავადებულებს, სისხლძარღვთა სპაზმის გამო, აღენიშნებათ თავისა და გულის ტკივილი; 4. ჰიპოტენზიური – ჰაერში მცირდება ჟანგბადის შემცველობა, ეცემა ავადმყოფთა სისხლძარღვების ტონუსი, წნევის შემცირების გამო, ჰიპერტონიკები თავს უკეთ გრძნობენ; 5. ჰიპოქსიური – ამინდი იცვლება დათბობისაკენ და მცირდება ჰაერში ჟანგბადის რაოდენობა, ადამიანებს აწუხებთ ჟანგბადის უკმარობა.

**შედეგები.** სამედიცინო-გეოგრაფიული საკითხები, რომელსაც უნდა მიექცეს ყურადღება, გულ-სისხლძარღვთა დაავადებებთან მიმართებაში:

- დადგინდეს მეტეოროლოგიური ფაქტორების კორელაცია გულ-სისხლძარღვთა დაავადებებთან ლანდშაფტური ზონების მიხედვით;
- განისაზღვროს კავშირი მზის აქტივობის მოკლევადიან (5-6 წელი) და გრძელვადიან (10-11 წელი) ციკლებსა და გულ-სისხლძარღვთა დაავადებებს შორის, სიმაღლითი ლანდშაფტური ზონების მიხედვით;
- გაანალიზდეს გულ-სისხლძარღვთა დაავადებებზე ატმოსფერული ჰაერის დაჭუჭყიანების მავნე ზემოქმედების დამამძიმებელი ან შემამსუბუქებელი კლიმატური სიტუაციები (ბუნებრივი, ლანდშაფტური გარემოთი განპირობებული);
- დადგინდეს კორელაცია გულ-სისხლძარღვთა დაავადებებსა და მაკრო და მიკრო ელემენტების შემცველობას შორის, ნიადაგსა და სასმელ წყალში;
- შესწავლილი იქნეს კორელაცია გულ-სისხლძარღვთა დაავადებასა და საცხოვრებელი გარემოს ამგები ქანების ასაკსა და შემადგენლობაზე, ასევე რელიეფის მორფომეტრულ მაჩვენებლებს შორის.
- განისაზღვროს კორელაცია გულ-სისხლძარღვთა დაავადებებსა და ლანდშაფტურ ზონებს შორის (Sanderson, J. and L. D. Harris 2000), კერძოდ: ამ შემთხვევაში ყურადღება უნდა მიექცეს ტიპოლოგიური ერთეულების სითბო-სინოტივის შეფარდებასა და ავადობის ინტენსივობის მაჩვენებელს, ნალექების რაოდენობასა და სეზონურ რიტმულობას.



## ლიტერატურა

- [1] დაავადებათა კონტროლის და საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის ეროვნული ცენტრის ანგარიში, 2018.
- [2] დავითაია ე., სეფერთელაძე ზ. ლანდშაფტმცოდნეობა და ლანდშაფტურ-ეკოლოგიური პრობლემები. // თბ. 2014.
- [3] Вашалова Т. В. Петрова Е. Г. И др. Расчет средней продолжительности жизни, как функция состояния окружающей среды. // Мат. Межд. Конф. Inter Carto 8, 2002.
- [4] Сулханишвили Н. Некоторые соображения о медико-географическом исследовании. // Тр. географического общества Грузинской ССР, т. 11, Тбилиси, 1970.
- [5] Джакобс С. Mortality from cardiovascular diseases and air pollution. // South Carolina, USA, Ref. Abs. journal 95. No. 4, 2003.
- [6] Sanderson J., Harris L. D. (eds.). Landscape Ecology: A Top-Down Approach. // Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA, 2000.

## THE ROLE OF PHYSICAL-GEOGRAPHICAL FACTORS IN THE SPATIO-TEMPORAL DISTRIBUTION OF CARDIOVASCULAR DISEASES

**Seperteladze Z., Davitaia E., Aleksidze T., Rukhadze N.**

**Abstract.** According to the definition of the World Health Organization, there is no such thing as a vote of confidence in the health sector. Absence of physical and mental disabilities, non-med spiritual and social care. According to his own assessment, the current level of household health care has decreased by 50%. It is based on the rules of health care, 20% – on genetic factors, 10% – on the health care system. on Saturdays and by 20% – on standing areas of environment.

Human and natural environment are closely related. That's why Adam's health is the foundation of his life. Therefore, humans and the natural environment are closely related and relevant and interesting. Acquiring knowledge about the impact of environmental pollution on one's health, which is the third He is asking for the contribution of various aspects.

Human and natural environment are closely related. That's why Adam's health is the foundation of his life. Therefore, humans and the natural environment are closely related and relevant and interesting. Acquiring knowledge about the impact of environmental pollution on one's health, which is the third He is asking for the contribution of various aspects. It was as a result of the lack of communication between the patient and the external conditions. A new branch of science is medical science, which studies human beings. The pathophysiological distribution of the patient and the pathologist. It works, makes the environment healthy, works in the medical field. The methods and principles of Lee mapping, etc. Medical-geographical research also allows us to take into account in advance the nature and consequences of the impact of new natural-territorial complexes on the human body as a result of the transformation of the environment.

**Key words.** Medical geography, Physical-geographical factors, Landscape area, State of the environment.

## VARIABILITY OF THE BIRTH, DEATH AND POPULATION GROWTH RATES IN GEORGIA IN 1994-2023

\*,\*\*Japaridze N., \*\*,\*\*\*Khazaradze K., \*\*\*\*Chkhitudze M., \*\*\*Revishvili A.

\*Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia

\*\*Ministry of Internally Displaced Persons from Occupied Territories, Labour, Health and Social Affairs of Georgia, Tbilisi, Georgia

\*\*\*Georgian State Teaching University of Physical Education and Sport, Tbilisi, Georgia

\*\*\*\*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia  
njaparidze@moh.gov.ge

**Abstract:** The paper presents the results of statistical analysis of variability of birth, death and population growth in Georgia in 1994-2023. The role of the COVID-19 pandemic in the deterioration of the demographic situation during its existence (2020-2021) and in the post-COVID period (2022-2023) is shown.

**Key words:** Human health, birth, mortality, population growth, environment.

### Introduction

For many years, the M. Nodia Institute of Geophysics of TSU, together with various medical organizations, has been conducting research on the impact of various natural (astro-meteo-geophysical factors) and anthropogenic (air pollution, photochemical smog, ozone) factors on the health of the population of Georgia [1-3]. Over the past decade, these studies have been successfully continued, the results of which, in particular, are published in [4-9]. During the Covid-19 pandemic, a number of works were carried out on the statistical analysis of various components of the pandemic, including ten-day, two-week and monthly interval forecasting of these components (infection cases, infection rate, deaths) [10,11]. In the post-COVID period, studies of the impact of various bioclimatic indicators on the spread of this infection have begun and will be continued [12-14]. Studies have also begun on the impact of the COVID-19 pandemic on the demographic indicators of Georgia during the pandemic and after it.

For example, the paper [15] presents results of a statistical analysis of the variability of annual mortality per 1000 population (M) in Georgia and its regions from 1994 to 2022. The average value of M for Georgia in 1994-2022 is 12.6, the lowest mortality on average is observed in the Kvemo Kartli region (M = 9.4), the highest – in Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti (M = 21.5). The range of variability in annual mortality is from 5.4 (Kvemo Kartli) to 31.1 (Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti). It is shown, that the Covid-19 pandemic (2020-2021) has had a significant impact on the population mortality. In particular, during the period with the Covid-19 pandemic compared to the period without the pandemic (1994-2019, 2022), the average M value in Georgia increased from 12.4 to 14.9 (by 2.5 units). The smallest increase in M values was observed in Tbilisi (from 11.4 to 13.3, by 1.8 units), the largest – in Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti (from 21.0 to 28.8, by 7.8 units). Data on the differences in average annual mortality in Georgia and its regions for different time intervals (including taking into account the impact of Covid-19 pandemic) are also presented.

This work is part of these studies. The results of statistical analysis of variability of birth, death and population growth in Georgia in 1994-2023 are presented below. The role of the COVID-19 pandemic in the deterioration of the demographic situation during its existence (2020-2021) and in the post-COVID period (2022-2023) is shown.

## Study area, material and methods

Study area – Georgia.

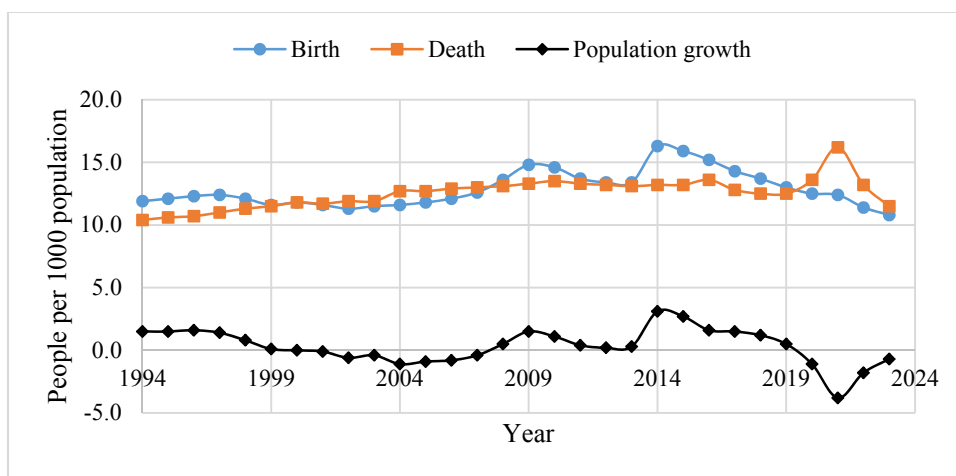
Data of National Statistics Office of Georgia [<https://www.geostat.ge/en>] on annual birth (B), death (D) and population growth (PG) per 1 000 population, from 1994 to 2023 is used.

In the proposed work the analysis of data is carried out with the use of the standard statistical analysis methods [16]. The following designations will be used below: Mean – average values; Min – minimal values; Max – maximal values; St Dev – standard deviation; R – coefficient of linear correlation;  $\alpha$  – level of significance.

## Results and discussion

Results in Fig. 1,2 and Table are presented.

In Fig. 1 the time series of population birth, death and growth rates in Georgia from 1994 to 2023, and in Table the statistical characteristics of these parameters are presented.



**Fig. 1. Changeability of population birth, death and growth rates in Georgia in 1994-2023.**

**Table 1. Statistical characteristics of population birth, death and growth rates in Georgia in 1994-2019 ( $R_{\min} = 0.40$ ,  $\alpha = 0.05$ ) and 1994-2023 ( $R_{\min} = 0.36$ ,  $\alpha = 0.05$ ).**

Years	1994-2019, Pre-Covid-19 period			1994-2023, Full period		
Variable	Birth	Death	Population growth	Birth	Death	Population growth
Max	16.3	13.6	3.1	16.3	16.2	3.1
Min	11.3	10.4	-1.1	10.8	10.4	-3.8
Range	5.0	3.2	4.2	5.5	5.8	6.9
Average	13.0	12.4	0.7	12.9	12.5	0.3
St Dev	1.4	1.0	1.1	1.4	1.2	1.4
Correlation Matrix						
Birth	1	0.66	0.74	1	0.44	0.65
Death	0.66	1	-0.01	0.44	1	-0.40
Population growth	0.74	-0.01	1	0.65	-0.40	1
Years	2020-2021, Covid-19 period			2022-2023, Post-Covid-19 period		
Average	12.5	14.9	-2.5	11.1	12.4	-1.3

In particular, as follows from Fig. 1 and Table 1, average value of B and D for Georgia in 1994-2019 and 1994-2023 differ little from each other (13.0 and 12.9; 12.4 and 12.5 accordingly). But PG value in 1994-2019 is 2.3 times higher than in 1994-2023 (0.7 and 0.3 accordingly).

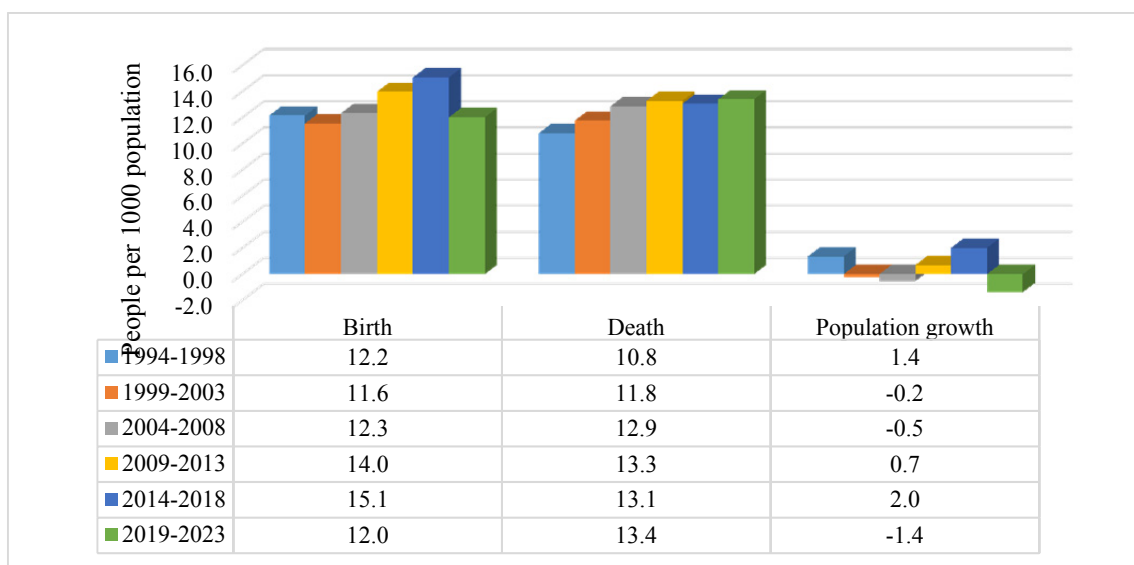
Two years of the pandemic and the post-pandemic period had a significant impact on the correlation connections between the studied parameters. In 1994-2019 value of linear correlation coefficient between population birth and population death was 0.66 (moderate correlation), but in 1994-2023 – 0.44 (low correlation). In 1994-2019 value of linear correlation coefficient between population birth and population growth was 0.74 (high correlation), but in 1994-2023 – 0.65 (moderate correlation). In 1994-2019 value of R between population death and population growth was negligible, but in 1994-2023 was -0.40 (low correlation).

In 2020-2021, the average B value was 12.5, which is lower than in 1994-2019 (13.0) and in 1994-2023 (12.9), but higher than in 2022-2023 (11.1).

In 2020-2021, the average D value was 14.9, which is significantly higher than for all other specified time periods (12.4-12.5).

The pandemic has had a significant impact on population growth. In 2020-2021, the average PG value was -2.5, which is significantly lower than in 1994-2019 (0.7), in 1994-2023 (0.3), and in 2022-2023 (-1.3).

Finally, in Fig. 2 for clarity data on average five-year population birth, death and growth rates in Georgia in 1994-2023 are presented.



**Fig. 2. Average five-year population birth, death and growth rates in Georgia in 1994-2023.**

In particular, as follows from this Fig., in the last five years Georgia had the worst demographic indicators: B = 12.0, D = 13.4, PG = -1.4.

## Conclusion

In the near future, we plan to conduct a similar study for the regions of Georgia.

## References

- [1] Japaridze N., Khazaradze K. *Studies in the Field of the Influence of Natural and Anthropogenic Environmental Factors on Human Health in Georgia: Current Status and Planned Works.* // Int. Sc. Conf. "Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation". Proc., ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp. 201-204. [http://109.205.44.60/bitstream/123456789/8671/1/47\\_Conf\\_NDG\\_2019.pdf](http://109.205.44.60/bitstream/123456789/8671/1/47_Conf_NDG_2019.pdf)
- [2] Kartvelishvili L., Tatishvili M., Amiranashvili A., Megrelidze L., Kutaladze N. *Weather, Climate and their Change Regularities for the Conditions of Georgia.* // Monograph, Publishing House "UNIVERSAL", Tbilisi 2023, 406 p., <https://doi.org/10.52340/mng.9789941334658>
- [3] Japaridze N., Khazaradze K., Chkhitunidze M., Revishvili A. *A Brief Overview of Research Conducted by M. Nodia Institute of Geophysics, TSU Together with Medical Organizations in the Field of "Health of the Population of Georgia and Environment" Over the Past 10 Years.* // Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its

- Envelopes", Proceedings, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, Tbilisi, 2023, pp. 337-343. <http://dSPACE.gela.org.ge/handle/123456789/10469>
- [4] Japaridze N., Khazaradze K. *Changeability of Mortality in Georgia in Different Seasons and Periods of Year into 1993-2017. // Int. Sc. Conf. "Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation". Proc., ISBN 978- 9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp. 205-208.*  
[http://www.dSPACE.gela.org.ge/bitstream/123456789/8672/1/48\\_Conf\\_NDG\\_2019.pdf](http://www.dSPACE.gela.org.ge/bitstream/123456789/8672/1/48_Conf_NDG_2019.pdf)
- [5] Amiranashvili A.G., Japaridze N.D., Khazaradze K.R. On the Connection of Monthly Mean of Some Simple Thermal Indices and Tourism Climate Index with the Mortality of the Population of Tbilisi City Apropos of Cardiovascular Diseases. Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 21(1), Tbilisi, 2018, pp.48 -62.  
<http://www.jl.tsu.ge/index.php/GGS/article/view/2489>
- [6] Khazaradze K.R., Chkhitudze M.S., Japaridze N.D. *Effects of Variations of the Monthly Mean Max Air Temperature on the Population Health of Kakheti Region of Georgia. // Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“ Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 356-359.* <http://www.dSPACE.gela.org.ge/handle/123456789/8836>
- [7] Khazaradze K.R., Chkhitudze M.S., Japaridze N.D. *Changeability of Annual Values of Mortality as Whole in Georgia and Kakheti Region from 1993 to 2018. // Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“ Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 360-363.* <http://dSPACE.gela.org.ge/handle/123456789/8837>
- [8] Amiranashvili A., Bakradze T., Ghlonti N., Khazaradze K., Japaridze N., Revishvili A. Influence of Variations of the Annual Intensity of Galactic Cosmic Rays on the Mortality of the Population of Georgia. Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 163 – 166.
- [9] Amiranashvili A.G., Revishvili A.A., Khazaradze K.R., Japaridze N.D. Connection of Holiday Climate Index with Public Health (on Example of Tbilisi and Kakheti Region, Georgia). Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 24 (1), 2021, pp. 63-76. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420212884>
- [10] Amiranashvili A.G., Khazaradze K.R., Japaridze N.D. The statistical analysis of daily data associated with different parameters of the New Coronavirus COVID-19 pandemic in Georgia and their monthly interval prediction from January 1, 2022 to March 31, 2022. 20 p. // Preprint from medRxiv, 21Apr 2022, medRxiv 2022.04.19.22274044; doi: <https://doi.org/10.1101/2022.04.19.22274044>
- [11] Amiranashvili A.G., Khazaradze K.R., Japaridze N.D. *Comparative Analysis of Reported Deaths Cases Associated with the New Coronavirus COVID-19 Pandemic in the South Caucasus Countries (Armenia, Azerbaijan, Georgia) from March 2020 to May 2022. // medRxiv 2022.04.19.22274044; doi: <https://doi.org/10.1101/2022.04.19.22274044>*
- [12] Amiranashvili A., Japaridze N., Kartvelishvili L., Khazaradze K., Revishvili A. Preliminary Results of a Study on the Impact of Some Simple Thermal Indices on the Spread of COVID-19 in Tbilisi. // Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 25(2), 2022, pp. 59–68. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2520225961>
- [13] Amiranashvili A., Bliadze T., Japaridze N., Khazaradze K., Revishvili A. Angstrom Fire Index as a Bioclimatic Indicator (Using the Example of the Impact on the Spread of Covid-19 in Tbilisi). // Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes", Proceedings, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, Tbilisi, 2023, pp. 328-331. <http://openlibrary.ge/handle/123456789/10467>
- [14] Amiranashvili A., Japaridze N., Kharchilava J., Khazaradze K., Revishvili A. Results of a Study on the Impact of Surface Ozone Concentration on the Spread of COVID-19 in Tbilisi. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 26(2), 2023, pp. 57–64.
- [15] Japaridze N., Khazaradze K., Chkhitudze M., Revishvili A. Mortality Variability in Georgia in 1994-2022. // Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes", Proceedings, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, Tbilisi, 2023, pp. 332-336.  
<http://openlibrary.ge/handle/123456789/10468>
- [16] Hinkle D. E., Wiersma W., Jurs S. G. Applied Statistics for the Behavioral Sciences. // Boston, MA, Houghton Mifflin Company, ISBN: 0618124055; 9780618124053, 2003, 756 p.

## STATISTICAL CHARACTERISTICS OF THE DAILY VALUES OF AIR EFFECTIVE TEMPERATURE ACCORDING TO MISSENARD IN BATUMI

**\*,\*\*Japaridze N., \*\*\*,\*\*\*\*Kartvelishvili L., \*\*,\*\*\*\*\*Khazaradze K., \*\*\*\*Chkhitunidze M., \*\*\*\*Nikolaishvili M., \*\*\*\*Revishvili A.**

*\*Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia*

*\*\*Ministry of Internally Displaced Persons from Occupied Territories, Labour, Health and Social Affairs of Georgia, Tbilisi, Georgia*

*\*\*\*\*Institute of Hydrometeorology of the Georgian Technical University*

*\*\*\*\*Georgian National Environmental Agency*

*\*\*\*\*\*Georgian State Teaching University of Physical Education and Sport, Tbilisi, Georgia*

*\*\*\*\*\*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia  
njaparidze@moh.gov.ge*

**Abstract:** *The paper presents the results of statistical analysis of the daily average and maximum values of air effective temperature according to Missenard in Batumi in 2018-2023.*

**Key words:** *Effective temperature, bioclimate, human health, ecology.*

### Introduction

Data on the bioclimatic characteristics of the area are important for determining the level of their impact on the health of the population, promoting the development of the resort and tourism industry [1-10], etc. There are many bioclimatic indices (a combination of temperature and relative humidity, wind speed and other meteorological parameters), one of which is the frequently used effective air temperature according to Missenard [4,8,9,11,12].

For example, in [11] results of the statistical analysis of the mean monthly data about the values of air effective temperature on Missenard (ET) in two diametrically opposite located on the latitude geographical regions of Georgia: autonomous republic of Adjara (below – Adjara) and Kakheti region (below – Kakheti) are represented. The intra-annual distribution of values of ET is studied, their repetition on the categories of ET is obtained, detailed information about the categories of mean monthly values of ET, and also their upper and lower levels 99% of confidence interval is given, etc.

This work is part of these studies. The results of statistical analysis of the daily average and maximum values of air effective temperature according to Missenard in Batumi in 2018-2023 are presented below.

### Study area, material and methods

Study area – Batumi (the capital of the autonomous republic of Adjara, Georgia).

The work uses data from the Georgian National Environment Agency on average daily and urgent (at 4 p.m. local time) values of temperature (T), relative humidity (RH) and wind speed (V) for the period from 2018 to 2023.

The air effective temperature according to Missenard was calculated using the formula [12]:

$$ET = 37 - (37 - T) / (0.68 - 0.0014 \cdot RH + 1 / (1.76 + 1.4 \cdot V^{0.75})) - 0.29 \cdot T \cdot (1 - 0.01 \cdot RH)$$

The categories of ET are presented in Table 1.

**Table 1. The degree of human thermal sensation (category) depending on the values of air effective temperature.**

ET	<1°C	1-9°	9-17°	17-21°	21-23°	23-27°	>27°
ET	Very cold	Cold	Cool	Comfortabl	Warm	Hot	Very hot

In the proposed work the analysis of data is carried out with the use of the standard statistical analysis methods. The following designations will be used below: Min – minimal values; Max – maximal values; ET\_Mean – daily average air effective temperature; ET\_Max – daily maximum air effective temperature; Low and Upp – lower and upper levels of confidence interval of average values with probability 99.999%.

**Results and discussion**

Results in Table 1,2 and Fig. 1,2 are presented.

**Table 2. Statistical characteristics of ET\_Mean and ET\_Max in Batumi by month in 2018-2023.**

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
	ET_Mean											
Max	13.0	10.6	13.4	17.6	18.4	23.7	25.2	24.0	23.8	17.9	14.9	13.2
Min	-12.8	-16.8	-11.6	-4.3	2.2	10.3	13.0	14.7	7.2	1.4	-4.6	-
Average	-0.1	-0.2	1.7	5.9	10.7	17.4	19.3	20.6	16.9	11.9	7.0	3.2
Upp	1.5	1.5	3.2	7.1	11.9	18.3	20.1	21.1	18.1	13.1	8.2	4.6
Low	-1.6	-1.9	0.1	4.7	9.5	16.5	18.5	20.0	15.8	10.7	5.8	1.8
	ET_Max											
Max	16.0	17.4	21.0	23.4	25.9	26.3	29.3	28.1	29.2	24.8	21.8	16.5
Min	-9.6	-13.4	-7.8	-1.2	3.6	11.8	14.2	18.8	10.3	5.4	0.4	-7.5
Average	4.4	4.3	6.0	10.3	14.5	20.5	22.3	23.7	20.5	16.0	11.4	7.6
Upp	6.0	6.3	7.9	11.9	15.9	21.4	23.2	24.2	21.5	17.3	12.7	9.0
Low	2.9	2.4	4.1	8.7	13.0	19.6	21.5	23.1	19.4	14.8	10.1	6.2

**Table 3. Categories of monthly average values of ET\_Mean and ET\_Max and their upper and lower levels in Batumi in 2018-2023.**

Mon		Upp	Average	Low		Upp	Average	Low
Jan	ET_Mean	Cold	Very cold	Very cold	ET_Max	Cold	Cold	Cold
Feb								
Mar			Cold					
Apr								
May		Comfortable	Comfortable	Cool		Warm	Comfortable	Comfortable
Jun								
Jul		Warm	Comfortable	Comfortable		Hot	Hot	Hot
Aug								
Sep		Comfortable	Cool	Cool		Warm	Comfortable	Comfortable
Oct								
Nov		Cold	Cool	Cold		Cool	Cool	Cool
Dec								

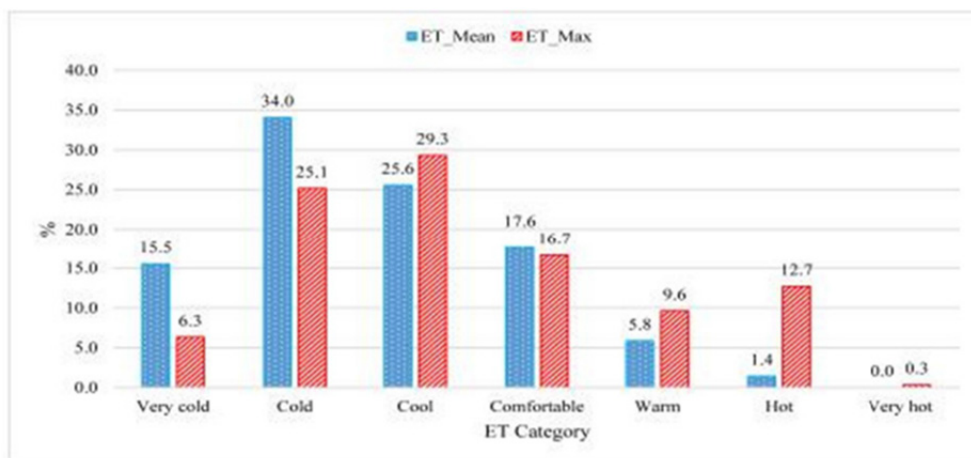
In particular, as follows from Table 2, values of ET\_Mean change from -16.8° (February, “Very cold”) to 25.2° (July, “Hot”), and ET\_Max – from -13.4° (February, “Very cold”) to 29.3° (July, “Very hot”).

In Table 3 data about categories of monthly average values ET\_Mean and ET\_Max and their upper and lower levels in Batumi in 2018-2023 are presented. As follows from this Table for different month category of ET\_Mean change from “Very cold” to “Warm”, and category of ET\_Max – from “Cold” to “Hot”. This



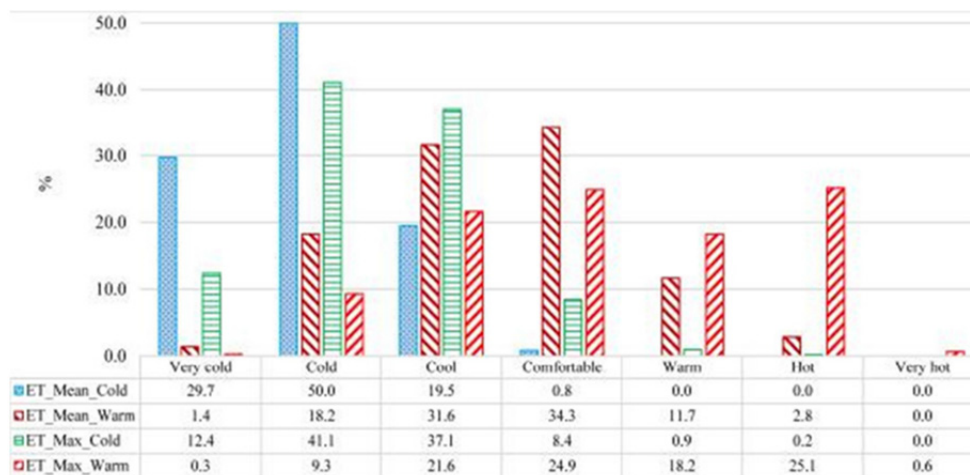
Table, in particular, can be used for practical purposes for a verbal description of the bioclimatic conditions in Batumi in different months of the year.

Fig. 1 and 2 presents data on the repetitions of ET\_Mean and ET\_Max values in Batumi by category throughout the year, as well as in the cold (October-March) and warm (April-September) seasons.



**Fig. 1. Repetition categories of ET\_Mean and ET\_Max in Batumi during the year.**

As follows from Fig. 1 the highest repeatability of ET\_Mean values is in the "Cold" category (34.0%), and the lowest is in the "Hot" category (1.4%). The highest repeatability of ET\_Max values is in the "Cool" category (29.3%), and the lowest is in the "Very hot" category (0.3%).



**Fig. 2. Repetition categories of ET\_Mean and ET\_Max in Batumi during the cold and warm periods of year.**

In cold period (Fig. 2) the highest repeatability of ET\_Mean values is in the "Cold" category (50.0%), and the lowest is in the "Comfortable" category (0.8 %). The highest repeatability of ET\_Max values is in the "Cold" category (41.1 %), and the lowest is in the "Hot" category (0.2%).

In warm season (Fig. 2) the highest repeatability of ET\_Mean values is in the "Comfortable" category (34.3%), and the lowest is in the "Very cold" category (1.4 %). The highest repeatability of ET\_Max values is in the "Hot" category (25.1 %), and the lowest is in the "Very cold" category (0.3%).

## Conclusion

In the future, we plan to conduct a similar study for the different regions of Georgia.

## Acknowledgement

The authors are grateful to the chief of the atmospheric physics department of M. Nodia Institute of Geophysics A. Amiranashvili for assistance in the fulfillment of this work.

## References

- [1] Kartvelishvili L., Tatishvili M., Amiranashvili A., Megrelidze L., Kutaladze N. Weather, Climate and their Change Regularities for the Conditions of Georgia. // Monograph, Publishing House "UNIVERSAL", Tbilisi 2023, 406 p., <https://doi.org/10.52340/mng.9789941334658>
- [2] Japaridze N., Khazaradze K. *Studies in the Field of the Influence of Natural and Anthropogenic Environmental Factors on Human Health in Georgia: Current Status and Planned Works.* // Int. Sc. Conf. "Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation". Proc., ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp. 201-204. [http://109.205.44.60/bitstream/123456789/8671/1/47\\_Conf\\_NDG\\_2019.pdf](http://109.205.44.60/bitstream/123456789/8671/1/47_Conf_NDG_2019.pdf)
- [3] Japaridze N., Khazaradze K., Chkhitunidze M., Revishvili A. A Brief Overview of Research Conducted by M. Nodia Institute of Geophysics, TSU Together with Medical Organizations in the Field of "Health of the Population of Georgia and Environment" Over the Past 10 Years. // Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes", Proceedings, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, Tbilisi, 2023, pp. 337-343. <http://dSPACE.gela.org.ge/handle/123456789/10469>
- [4] Amiranashvili A.G., Japaridze N.D., Khazaradze K.R. On the Connection of Monthly Mean of Some Simple Thermal Indices and Tourism Climate Index with the Mortality of the Population of Tbilisi City Apropos of Cardiovascular Diseases. Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 21(1), Tbilisi, 2018, pp.48 -62. <http://www.jl.tsu.ge/index.php/GGS/article/view/2489>
- [5] Khazaradze K.R., Chkhitunidze M.S., Japaridze N.D. *Effects of Variations of the Monthly Mean Max Air Temperature on the Population Health of Kakheti Region of Georgia.* // Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“ Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 356-359. <http://www.dSPACE.gela.org.ge/handle/123456789/8836>
- [6] Amiranashvili A., Bakradze T., Ghlonti N., Khazaradze K., Japaridze N., Revishvili A. Influence of Variations of the Annual Intensity of Galactic Cosmic Rays on the Mortality of the Population of Georgia. Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 163 – 166.
- [7] Amiranashvili A.G., Revishvili A.A., Khazaradze K.R., Japaridze N.D. Connection of Holiday Climate Index with Public Health (on Example of Tbilisi and Kakheti Region, Georgia). Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 24 (1), 2021, pp. 63-76. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420212884>
- [8] Amiranashvili A., Japaridze N., Kartvelishvili L., Khazaradze K., Revishvili A. Preliminary Results of a Study on the Impact of Some Simple Thermal Indices on the Spread of COVID-19 in Tbilisi. // Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 25(2), 2022, pp. 59–68. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2520225961>
- [9] Amiranashvili A., Bliadze T., Japaridze N., Khazaradze K., Revishvili A. Angstrom Fire Index as a Bioclimatic Indicator (Using the Example of the Impact on the Spread of Covid-19 in Tbilisi). // Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes", Proceedings, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, Tbilisi, 2023, pp. 328-331. <http://openlibrary.ge/handle/123456789/10467>
- [10] Amiranashvili A., Japaridze N., Kharchilava J., Khazaradze K., Revishvili A. Results of a Study on the Impact of Surface Ozone Concentration on the Spread of COVID-19 in Tbilisi. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 26(2), 2023, pp. 57–64.
- [11] Amiranashvili A., Japaridze N., Kartvelishvili L., Megrelidze L., Khazaradze K. Statistical characteristics of the monthly mean values of air effective temperature on Missenard in the Autonomous Republic of Adjara and Kakheti (Georgia). // Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. 69, Tb., 2018, pp. 118 – 138, (in Russian). [http://dSPACE.gela.org.ge/bitstream/123456789/7509/1/IG\\_T\\_69\\_2018\\_Red\\_13.pdf](http://dSPACE.gela.org.ge/bitstream/123456789/7509/1/IG_T_69_2018_Red_13.pdf)
- [12] Missenard F.A. Température effective d'une Atmosphere Généralisation Températurerés ultante d'un Milieu. // Encyclopédie in dustrielleet Commerciale, Etude physiologique et technique de la ventilation. Librerie de l'Enseignement Technique, Paris, 1933, 131-18.

## THE INTERVAL FORECASTING OF THE HOLIDAY CLIMATE INDEX IN TSALKA (GEORGIA) TO 2026-2035

\*Amiranashvili A., \*\*, \*\*\*Kartvelishvili L., \*\*\*\*, \*\*\*\*\*Matzarakis A.

\*M. Nodia Institute of Geophysics of the I. Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

\*\*Institute of Hydrometeorology of the Georgian Technical University

\*\*\*Georgian National Environmental Agency

\*\*\*\*Faculty of Environment and Natural Resources, University of Freiburg, Freiburg im Breisgau, Germany

\*\*\*\*\*Democritus University of Thrace, Komotini, Greece

avtandilamiranashvili@gmail.com

**Abstract.** Based on previously obtained natural data on the variability of monthly values of the Holiday Climate Index (HCI) in Tsalka (Georgia) in 1956-2015, an interval forecast of HCI on 2026-2035 was performed using the AAA version of the exponential smoothing (ETS) algorithm.

**Key Words:** bioclimate, tourism climate index, holiday climate index, interval forecasting.

### Introduction

In recent years, in order to assess the bioclimatic conditions of populated areas in connection with the development of the resort and tourism industry in them, along with various bioclimatic indices, including the very popular Tourism Climate Index (TCI) [1-4], the so-called Holiday Climate Index (HCI) has begun to be used [5]. In Georgia, along with the research of the TCI for various regions, in recent years, research of the HCI has also been launched.

In particular, in work [6] for the first time in Georgia a comparison between Tourism Climate Index and Holiday Climate Index for Tbilisi (capital of Georgia) was made.

In another work [7] is performed a detailed analysis of monthly, seasonal and annual HCI values during a 60-year period (1956-2015) for 13 mountainous locations in Georgia (Bakmaro, Bakuriani, Borjomi, Goderdzi, Gudauri, Khaishi, Khulo, Lentekhi, Mestia, Pasanauri, Shovi, Stepantsminda, and Tianeti) and compared HCIs and TCIs of monthly values for three points in Georgia (Goderdzi, Khulo and Mestia) based on data from 1961 to 2010. The variability data of the HCI in 1986-2015 compared to those in 1956-1985 and the trends of the HCI in 1956-2015 are also presented.

In two other works [8,9] a detailed analysis of data on the long-term average values of the Holiday Climate Index for different settlements in the Kakheti and Kvemo Kartli regions of Georgia are presented. Finally, in work [10] some results of study of variability of the Holiday Climate Index in Tsalka in 1956-2015 are presented.

In connection with climate change, great importance is attached to the issues of long-term forecasting the variability of various bioclimatic indices, including TCI and HCI. For example, in the work [11] assessment of future change of HCI of urban and beach destinations in the Mediterranean is presented. In [12] study of suitability of the climate for tourism in Romania based on the HCI in the near future is carried out.

We have carried out similar work. Using Mestia as an example, the expected changes in the monthly, seasonal and annual HCIs of 2041-2070 and 2071-2100 were assessed. Some results of this work were used in [3, 13].

Detailed information on the variability of the monthly values of the Holiday Climate Index in Tbilisi in 1956-2015 is presented in [14]. It also presents data on the interval forecasts of HCI variability in Tbilisi for the next few decades.

This article is a continuation of studies [3, 13, 14]. In this work based on previously obtained natural data on the variability of monthly values of the Holiday Climate Index (HCI) in Tsalka in 1956-2015 [10], an interval forecast of HCI on 2026-2035 was carried out.

### Study area, material and methods

Tsalka (41.60 N°, 44.08 E°, 1458 m, a.s.l.) is a town and municipality center in southern Georgia's Kvemo Kartli region. Tsalka is an important historical, cultural and economic (including tourism) center of Georgia [10, <https://www.advantour.com/georgia/tsalka-canyon.htm>].

Data on variability of the monthly values of Holiday Climate Index in Tsalka in 1956-2015 in [10] are presented. Based on this data forecasting of HCI on 2026-2035 was performed using the AAA version of the exponential smoothing (ETS) algorithm taking into account the periodicity in the pre-forecast time series [15]. 95%\_Low and 95%\_Upp – 95% lower and upper forecast level of HCI. In the time series of HCI periodicity was observed only for March (2 years), July (15 years), November (7 years) and December (9 years).

### Results

Results in Fig. 1-4 are presented.

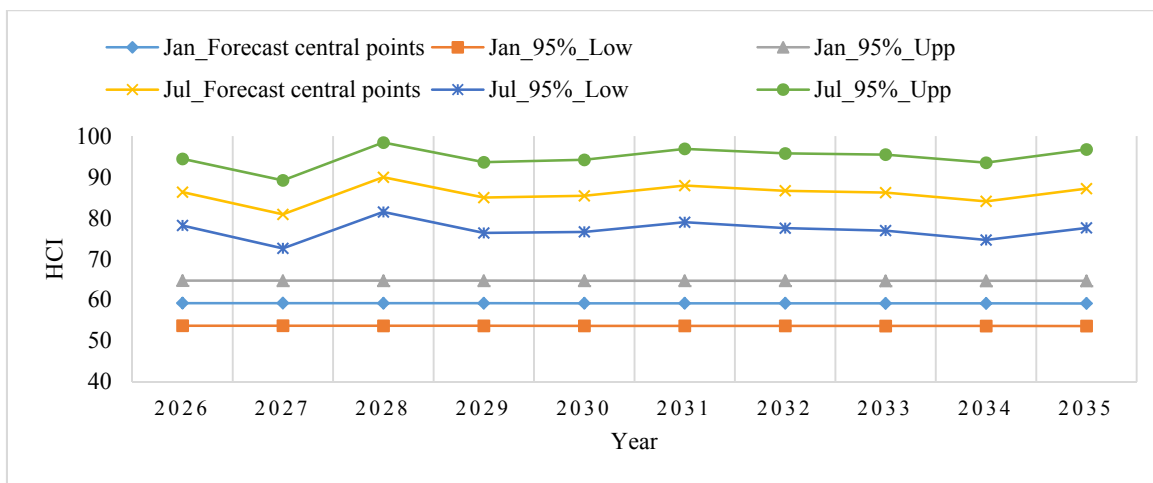


Fig. 1. Example of interval forecast of HCI in Tsalka in 2026-2035 for January and July.

In Fig. 1 example of interval forecast of HCI in Tsalka in 2026-2035 for January and July is presented. As follows from Fig. 1, in the studied period of time in January, the central point of the HCI forecast is 59 (category “Acceptable”) with a range of variability from 54 (category “Acceptable”) to 65 (category “Good”). In July, possible variations in the central point of the HCI forecast are within 81 (category “Excellent”) – 90 (category “Ideal”) with a general range of variability from 73 (category “Very Good”) to 98 (category “Ideal”).

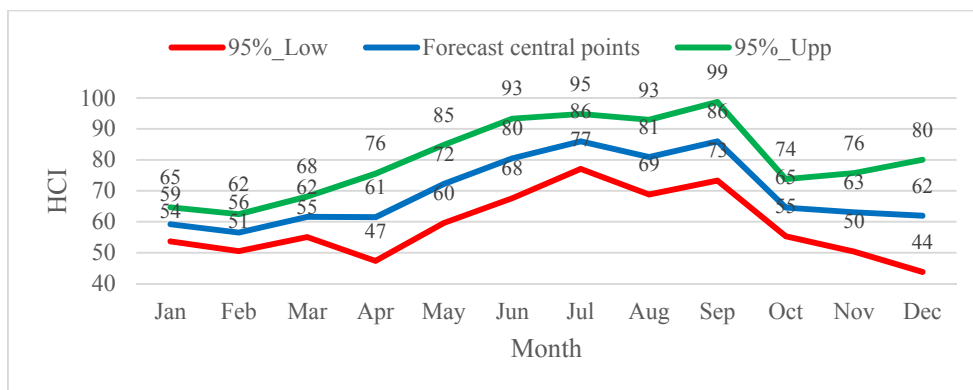
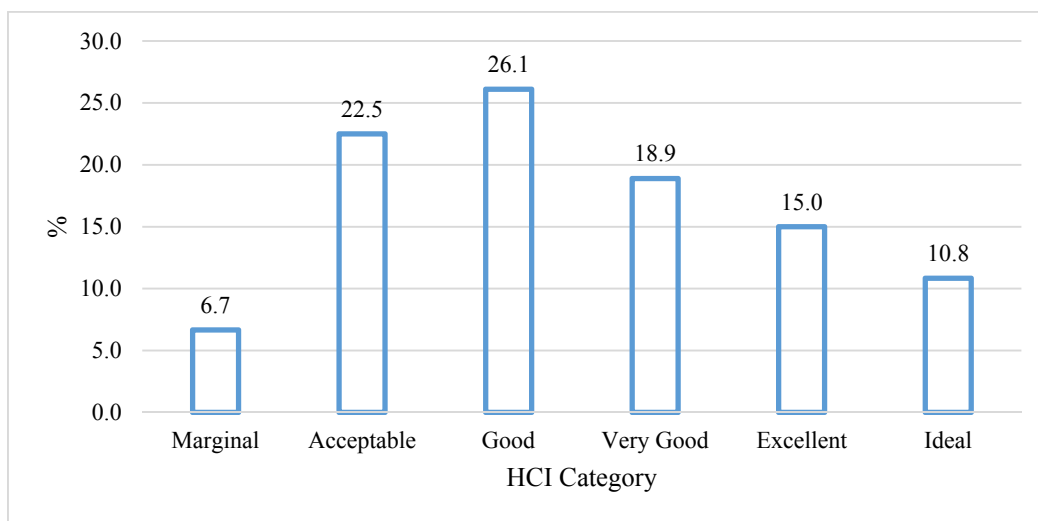


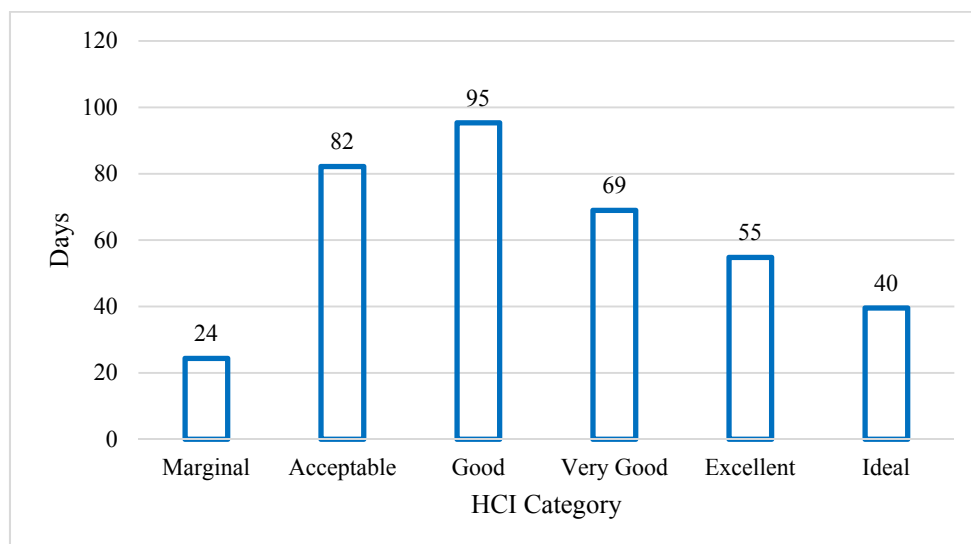
Fig. 2. Monthly average predicted values of HCI in Tsalka in 2026-2035.

In Fig. 2 data on monthly average predicted values of HCI in Tsalka in 2026-2035 are presented. As follows from this Figure the average values of central point of the HCI forecast change from 61 (April, category “Good”) to 86 (July and September, category “Excellent”) with a range of variability from 44 (December, category “Marginal”) to 99 (September, category “Ideal”).



**Fig. 3. Expected repetition of category of monthly values of HCI in Tsalka in 2026-2035 (forecast central points and their 95% lower and upper levels).**

In Fig. 3 data on expected repetition of category of monthly values of HCI in Tsalka in 2026-2035 is presented. As can be seen from this figure, the highest repetition of HCI values (26.1%) falls on the "Good" category, the lowest (6.7%) – on the “Marginal” category. For comparison, note that in 1986-2015, the highest repetition of HCI values (38.6%) also fell on the “Good” category, while the lowest (0.3%) – on the “Ideal” category [10].



**Fig. 4. Expected number of days in year with different category of HCI in Tsalka in 2026-2035 (forecast central points and their 95% lower and upper levels).**

Finally, in Fig. 4 data on expected number of days in year with different category of HCI in Tsalka in 2026-2035 is presented. This number of days change from 95 (category “Good”) to 24 (category “Marginal”). On “Ideal” category the possible number of days can reach 40. Note in the period from 1986 to 2015 in the “Good” category was 140 days per year, and in the “Ideal” category – 1 day per year [10].

## Conclusion

In the future, it is planned to continue similar studies for different regions of Georgia using various methods of short-term and long-term forecasting of the variability of the HCI and other bioclimatic indices, taking into account climate change. As data on the components of the HCI are accumulated, it is also planned to test the specified method of forecasting the HCI by comparing the calculated and actual data on this index for the period after 2016.

## References

- [1] Matzarakis A., Cheval S., Lin T.-P., Potchter, O. Challenges in Applied Human Biometeorology. // *Atmosphere*, 12, 296, 2021. <https://doi.org/10.3390/atmos12030296>
- [2] Mieczkowski Z. The Tourism Climate Index: A Method for Evaluating World Climates for Tourism. // *The Canadian Geographer*, N 29, 1985, pp. 220-233.
- [3] Kartvelishvili L., Tatishvili M., Amiranashvili A., Megrelidze L., Kutaladze N. Weather, Climate and their Change Regularities for the Conditions of Georgia. // Monograph: Publishing House "UNIVERSAL", Tbilisi, 2023, 406 p., <https://doi.org/10.52340/mng.9789941334658>
- [4] Pan S.-L., Wu L., Morrison A.M. A review of studies on tourism and climate change from 2007 to 2021. // *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, Vol. 36 No. 5, 2024, pp. 1512-1533. <https://doi.org/10.1108/IJCHM-11-2022-1397>
- [5] Scott D., Ruttly M., Amelung B., Tang M. An Inter-Comparison of the Holiday Climate Index (HCI) and the Tourism Climate Index (TCI) in Europe. // *Atmosphere* 7, 80, 2016, 17 p. doi:10.3390/atmos7060080www.
- [6] Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Matzarakis A. Comparison of the Holiday Climate Index (HCI) and the Tourism Climate Index (TCI) in Tbilisi. // In the book: *Int. Sc. Conf. "Modern Problems of Ecology"*, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 424-427.
- [7] Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Kutaladze N.B., Megrelidze L.D., Tatishvili M.R. Holiday Climate Index in Some Mountainous Regions of Georgia. // *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 24(2), 2021, pp. 92 – 117. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420213327>
- [8] Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G. Holiday Climate Index in Kakheti (Georgia). // *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 24(1), 2021, pp. 44-62.
- [9] Amiranashvili A., Bolashvili N., Kartvelishvili L., Liparteliani G., Tsirgvava G. Holiday Climate Index in Kvemo Kartli (Georgia). // *Georgian Geographical Journal*, E-ISSN: 2667-9701, 24(1), 2024, pp. 35-46. <https://doi.org/10.52340/ggj.2024.04.01.05>
- [10] Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Matzarakis A. Variability of the Holiday Climate Index in Tsalka (Georgia). // *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 27(1), 2024, pp. 77–90. <https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/7986>
- [11] Araci S.F. S., Demiroglu O. C., Pacal A., Hall C. M., Kurnaz, M. L. Future Holiday Climate Index (HCI) Performances of Urban and Beach Destinations in the Mediterranean. // In the book: *EGU General Assembly 2021*, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-13217, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-13217>, 2021.
- [12] Velea L., Bojariu R., Irimescu A., Craciunescu V., Puiu S., Gallo A. Climate Suitability for Tourism in Romania Based on HCI: Urban Climate Index in the Near-Future Climate. // *Atmosphere*, 14(6), 2023, 1020. <https://doi.org/10.3390/atmos14061020>
- [13] Fourth National Communication of Georgia. Under the United Nations Framework Convention on Climate Change. (2021) // Book: Tbilisi. pp. 333-339. [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/4%20Final%20Report%20-%20English%202020%2030.03\\_0.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/4%20Final%20Report%20-%20English%202020%2030.03_0.pdf)
- [14] Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Matzarakis A. Changeability of the Holiday Climate Index (HCI) in Tbilisi. // *Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics*, ISSN 1512-1135, vol. LXXII, 2020, pp. 131-139.
- [15] Hinkle D. E., Wiersma W., Jurs S. G. *Applied Statistics for the Behavioral Sciences*. Boston, MA, Houghton Mifflin Company, ISBN: 0618124055; 9780618124053, 2003, 756 p.

## თსუ, მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტისა და სტუ, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის ერთობლივი სამუშაოების მოკლე მიმოხილვა ბოლო ხუთი წლის განმავლობაში

**\*ვარამაშვილი ნ., \*\*, \*ფიფია მ.**

*\*მიხეილ ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო*

*\*\*ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, სტუ, თბილისი, საქართველო*

*ldvarama@gmail.com; m.pipia@gtu.ge*

**ანოტაცია:** წარმოდგენილია თსუ, მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტისა და სტუ, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის ერთობლივი სამუშაოების მოკლე მიმოხილვა ბოლო ხუთი წლის განმავლობაში

**საკვანძო სიტყვები:** ჰიდრომეტეოროლოგია, კლიმატი, ბიოკლიმატი, ეკოლოგია.

ბოლო ხუთი ათწლეულის განმავლობაში გეოფიზიკისა და ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტებმა აწარმოეს და ატარებენ მნიშვნელოვან ერთობლივ კვლევას ატმოსფერული ფიზიკის სხვადასხვა პრობლემის შესახებ, კერძოდ, როგორცაა ბუნებრივი რადიოაქტიური ტრასერები ატმოსფეროში; ჰაერის დაბინძურება; ატმოსფერული ელექტრობა, ელჭექისა და სეტყვის პროცესები; კლიმატის ცვლილება საქართველოში; საქართველოს ბიოკლიმატური რესურსების შეფასება; ჰიდრომეტეოროლოგიური კატასტროფების რისკის შეფასება; რადიოლოკაციური მეტეოროლოგია; ატმოსფერულ პროცესებზე აქტიური ზემოქმედება და ა.შ. სამეცნიერო სამუშაოების გარდა, ყურადღება დაეთმო ატმოსფერული კვლევის პოპულარიზაციას [1].

2019-2023 წწ. საერთო კვლევები ჩატარდა ისეთი მიმართულებით, როგორცაა ამინდის მოდიფიცირება, კლიმატის ცვლილება, ბუნებრივი კატასტროფები, მავნე მეტეოროლოგიური მოვლენები, ჰაერის დაბინძურება, ბიოკლიმატი. ამ წლებში სულ გამოქვეყნებულია 53 სამეცნიერო ნაშრომი, მათ შორის ორი მონოგრაფია [5,22] და ორი წიგნი [12,13]. ქვემოთ მოცემულია ზოგიერთ ნამუშევრების მოკლე მიმოხილვა.

ნაშრომებში [2,3,7,21] წარმოდგენილია სამეცნიერო და პრაქტიკული სამუშაოების ანალიზი საქართველოში ამინდის ხელოვნურ ზემოქმედებაზე წარსულში და აწმყოში (სეტყვასთან ბრძოლა, ღრუბლების ელჭექის აქტივობის რეგულირება, ნისლების დაშლა, ნალექების ხელოვნური რეგულირება და სხვ.). განხილულია ამ სამუშაოების შემდგომი განვითარების პერსპექტივები.

არაერთი ნაშრომი ეძღვნება საქართველოში სტიქიური უბედურებების შესწავლას (ქარბუქი, ტყის ხანძრები, სეტყვა, უხვი ნალექები, ძლიერი თოვლი და ზვავები, ქარიშხალი, მენწყერი და სხვა) [4,6,8,9,20,24,25,27,28,30]. ზოგიერთი სამუშაო [24,25,27,30] განხორციელდა საქართველოში პირველად შექმნილი სტიქიური უბედურებების კატალოგის მონაცემების გამოყენებით [19,23].

მთელი რიგი სამუშაოები ეძღვნება საქართველოში კლიმატის ცვლილების პრობლემებს (ნალექები, ღრუბლიანობა, ქარი, ჰაერის ტემპერატურა და ა.შ.) [10,11,30].

ჰაერის დაბინძურების მიმართ ჩატარებულია მეტად მნიშვნელოვანი და შრომატევადი ეკოლოგიური სახის კვლევები [12-18]. კვლევებისას გამოყენებულია ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის საკუთრებაში არსებული მიკრონაწილაკების PM2.5, PM10-ის და ზოგიერთი მეტეოროლოგიური ველის გამზომი (ქარის სიჩქარე, ტემპერატურა, ფარდობითი ტენიანობა) პორტატული მობილური ხელსაწყოები **Aeroqual Series 500** და **TROTEC PC220**. ამ ხელსაწყოების გამოყენებით, სპეციალური



ექსპედიციური გაზომვებით მიღებული მონაცემები გამოყენებული იქნა ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდიას გეოფიზიკის ინსტიტუტში დამუშავებული კავკასიის რეგიონში  $\alpha$  და  $\beta$  მასშტაბის ატმოსფერული პროცესების და უწყვეტ გარემოში დაბინძურების გადატანა-დიფუზიის განტოლების მოდელის რიცხვითი რეალიზაციისას.

შედეგად, შესწავლილი იქნა მტვრის, PM<sub>2.5</sub> და PM<sub>10</sub> მიკრონაწილაკების გავრცელება ქ. თბილისის, ქ. რუსთავის და ქ. ქუთაისის და მათი შემოგარენის ატმოსფეროში.

გამოკვლეულია ძირითადი თავისებურებანი, რომლებიც ახასიათებენ რთული რელიეფის პირობებში მიკრონაწილაკების გავრცელების პროცესს. დადგენილია ქალაქების მაღალი დამტვერიანების ზონები, აღმოჩენილია განსხვავებები, რომლებიც არსებობენ ზამთრისა და ზაფხულის სეზონებში ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების სივრცულ განაწილებებს შორის. განსაზღვრულია დროის ინტერვალები, როდესაც ფორმირდება მაღალი კონცენტრაციების არეები ან ხდება ჰაერის თვითდასუფთავების პროცესი. შესწავლილია ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენის ქვედა ნაწილში მტვრის კონცენტრაციის დროსა და სივრცეში ცვლილება. გამოკვლეულია PM<sub>2.5</sub> და PM<sub>10</sub> კონცენტრაციების განაწილება თბილისის ატმოსფეროში COVID-19 პანდემიის პერიოდში (2020-2021) [12-18].

ნაშრომში [30] და მონოგრაფიებში [5,22] განხილულია საქართველოს ბიოკლიმატური მახასიათებლები და მათთან დაკავშირებული ტურისტული ინდუსტრიის განვითარების თანამედროვე პრობლემები. დეტალურად არის დამუშავებული ტურისტულ-რეკრეაციული რესურსების შეფასების მეთოდი კლიმატის ცვლილების დინამიკის გათვალისწინებით. განსაზღვრულია საქართველოს სხვადასხვა რეგიონების ტურისტულ-რეკრეაციული რესურსების პოტენციალი და მისი განაწილების კანონზომიერებანი დროსა და სივრცეში.

გათვალისწინებულია მომავალში აღნიშნული ერთობლივი გამოკვლევების გაგრძელება, აგრეთვე ძალების გაერთიანება ახალი სამეცნიერო და გამოყენებითი ამოცანების გადასაჭრელად (ატმოსფერული პროცესების ექსპერიმენტალური მოდელირება, კლიმატის მოსალოდნელი ცვლილებისადმი ადაპტაციისთვის რეკომენდაციების შემუშავება, ატმოსფერულ პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების არსებული მეთოდების გაუმჯობესება და ახლის შექმნა, ბიოლოგიური სისტემების მონყვლადობის შეფასება ჰაერის დაბინძურების მიმართ, საქართველოს საკურორტო და ტურისტული ზონების ბიოკლიმატური პასპორტების შექმნა და სხვა).

## ლიტერატურა

- [1] Ghlonti N., Tsintsadze T. Analysis of Contemporary State and Prospect for the Development of the Joint Operations of the Institutes of Geophysics and Hydrometeorology in the field of Atmospheric Research in Georgia. // Transactions of the Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University, vol. 119, 2013, 159-163, (in Russian)
- [2] Amiranashvili A., Chikhladze V., Dzodzuashvili U., Ghlonti N., Sauri I., Telia Sh., Tsintsadze T. Weather Modification in Georgia: Past, Present, Prospects for Development. // Int. Sc. Conf. "Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation". Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp. 216-222, <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/8613>
- [3] ბერიტაშვილი ბ., ბურნაძე ა., კვესელავა ნ., ნერეთელი ა. სეტყვასაანინააღმდეგო სამუშაოების წარმოება ქვემო ქართლის ტერიტორიაზე – რეტროსპექტიული ანალიზი და მათი განახლების პერსპექტივები. // საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ზუნებრივი კატასტროფები საქართველოში: მონიტორინგი, პრევენცია, შედეგების შერბილება“. შრომები, ISBN 978-9941-13-899-7, ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, თბილისი, საქართველო, 12-14 დეკემბერი, თბილისი, 2019 წ., გვ. 212-215.
- [4] Pipia M., Elizbarashvili E., Amiranashvili A., Beglarashvili N. Dangerous Regions of Blizzard in Georgia. // Annals of Agrarian Science, ISSN 1512-1887, vol. 17, No 4, 2019, pp. 403 – 408. [https://www.researchgate.net/profile/Avtandil-Amiranashvili-2/publication/341992370\\_Annals\\_of\\_Agrarian\\_Science\\_A\\_B\\_S\\_T\\_R\\_A\\_C\\_T\\_Dangerous\\_regions\\_of\\_blizzard\\_in\\_georgia/links/5edd2ab7299b1c67d4b92ab/Annals-of-Agrarian-Science-A-B-S-T-R-A-C-T-Dangerous-regions-of-blizzard-in-georgia.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Avtandil-Amiranashvili-2/publication/341992370_Annals_of_Agrarian_Science_A_B_S_T_R_A_C_T_Dangerous_regions_of_blizzard_in_georgia/links/5edd2ab7299b1c67d4b92ab/Annals-of-Agrarian-Science-A-B-S-T-R-A-C-T-Dangerous-regions-of-blizzard-in-georgia.pdf)

- [5] Kartvelishvili L., Amiranashvili A., Megrelidze L., Kurdashvili L. Turistul Rekreaciuli Resursebis Shefaseba Klimatis Cvlilebebis Fonze. // Publish Hous "Mtsignobari", ISBN 978-9941-485-01-5, Tbilisi, 2019, 161 p., (in Georgian) <http://dspace.nplg.gov.ge/bitstream/1234/293074/1/turistulRekreaciuliResursebisShefasebaKlimatisCvlilebebisFonze.pdf>
- [6] Bliadze T., Kirkitadze D., Samkharadze I., Tsiklauri Kh. Statistical Characteristics of Angstrom Fire Index for Tbilisi. // Int. Sc. Conf. "Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation". Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp. 191-194.
- [7] ამირანაშვილი ა., კვესელავა ნ., ლლონტი ნ., ჩიხლაძე ვ., ცინცაძე თ. ბუნებრივ მოვლენებზე აქტიური ზემოქმედების ჩატარების ისტორია საქართველოში. // საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები“, შრომები, ISSN 1512-1976, ტ. 7, თბილისი-თელავი, საქართველო, 26-28 სექტემბერი, 2020, გვ. 147-152.
- [8] Beglarashvili N., Janelidze I., Pipia M., Varamashvili N. Hail Storms in Kakheti (Georgia) in 2014-2018.// Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 176-179.
- [9] Beglarashvili N., Janelidze I., Pipia M., Varamashvili N. Heavy Rainfall, Floods and Floodings in Kakheti (Georgia) in 2014-2018. // Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 180-184.
- [10] Bliadze T., Gvasalia G., Kartvelishvili L., Kirkitadze D., Mekoshkishvili N. Variability of the Annual Sum of Atmospheric Precipitations in Kakheti in 1956-2015.// Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 193-196.
- [11] Bliadze T., Kartvelishvili L. Kirkitadze D. Changeability of the Total Cloudiness in Tbilisi in 1956-2015. // Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 31 – 34.
- [12] სურმავა ა., ინკირველი ლ., კუხალაშვილი ვ. საქართველოს ატმოსფეროში მტვრის ტრანსსასაზღვრო, რეგიონალური და ლოკალური გავრცელების რიცხვითი მოდელირება. შეფასება. // საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი 2021, 121 გვ.
- [13] სურმავა ა., ინკირველი ლ., გიგაური ნ. PM2.5 და PM10 მიკროაეროზოლები ქ. თბილისის ატმოსფეროში. // თბილისი, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის გამომცემლობა, 2021, 92 გვ.
- [14] ბაგრატიონი ნ., გვერდნითელი ლ., გვახარია ვ., ჭირაქაძე ა., სურმავა ა. დარიშხანის სამრეწველო ნარჩენების განთავსებისა და გავრცელების არეალის ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება.// საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი 2021, 122 გვ.
- [15] Surmava A., Gigauri N., Kukhalashvili V., Intskirveli L., Demetrashvili D. Numerical Investigation of the Dependence of a Atmospheric Pollution of City with a Complex Relief on the Direction of Background Wind. //Annals of Agrarian Science, vol. 19, N 3, 2021, pp.191-198.
- [16] Gigauri N., Surmava A., Intskirveli L., Demetrashvili D., Gverdtsiteli L., Pipia M. Numerical Modeling of PM2.5 Propagation in Tbilisi Atmosphere in Winter. I. A Case of Background South Light Wind. // Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp.74 – 78.
- [17] Surmava A., Gverdtsiteli L., Intskirveli L., Gigauri N. Numerical Simulation of Dust Distribution in City Tbilisi Territory in the Winter Period. // Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B, Physics of solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, Vol.24(1), 2021, pp. 37-43
- [18] Kukhalashvili V., Pipia M., Gigauri N., Surmava A., Intskirveli L. Study of Tbilisi City Atmosphere Pollution with PM2.5 and PM10-Microparticles During COVID-19 Pandemic Period. // Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 25(2), 2022, pp. 29–37. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2520225958>
- [19] Varazanashvili O.Sh., Gaprindashvili G.M., Elizbarashvili E.Sh., Basilashvili Ts.Z., Amiranashvili A.G. Principles of Natural Hazards Catalogs Compiling and Magnitude Classification. // Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 25(1), 2022, pp. 5-11. <https://doi.org/10.48614/ggs2520224794>
- [20] Beglarashvili N., Gorgijanidze S., Kobakhidze N., Pipia M., Chikhladze V., Janelidze I., Jincharadze G. Heavy Snow and Avalanches on the Territory of Georgia in 2014-2018. // Journal of the Georgian Geophysical Society, e-

ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 25(2), 2022, pp. 24–28. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2520225957>

- [21] კაპანაძე ნ., მკურნალიძე ი., ფიფია მ. ნალექთა ხელოვნური რეგულირების რეტროსპექტული ანალიზი. // მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, შრომები, ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, ISSN 1512-1135, ტ. LXXV, 2022, თბილისი, გვ. 76 – 92. <http://openlibrary.ge/handle/123456789/10300>
- [22] Kartvelishvili L., Tatishvili M., Amiranashvili A., Megrelidze L., Kutaladze N. Weather, Climate and their Change Regularities for the Conditions of Georgia.// Monograph, Publishing House “UNIVERSAL”, ISBN: 978-9941-33-465-8, Tbilisi 2023, 406 p., <https://doi.org/10.52340/mng.9789941334658>
- [23] Varazanashvili O., Gaprindashvili G., Elizbarashvili E., Basilashvili Ts., Amiranashvili A., Fuchs S. The First Natural Hazard Event Database for the Republic of Georgia (GeNHs). // Catalog, 2023, 270 p. <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10369>; DOI: 10.13140/RG.2.2.12474.57286
- [24] Pipia M., Amiranashvili A., Beglarashvili N., Elizbarashvili E., Varazanashvili O. Analysis and Damage Assessment of Hail Processes in Georgia and Azerbaijan Using Radar Data (On the Example of May 28 and July 13, 2019). // Reliability: Theory & Applications, ISSN: 1932-2321, vol. 18, iss. SI 5 (75), pp. 267-274, DOI: 10.24412/1932-2321-2023-575-267-274, <https://cyberleninka.ru/article/n/analysis-and-damage-assessment-of-hail-processes-in-georgia-and-azerbaijan-using-radar-data-on-the-example-of-may-28-and-july-13>
- [25] Elizbarashvili E.Sh., Varazanashvili O.Sh., Amiranashvili A.G., Fuchs F., Basilashvili Ts.Z. Statistical Characteristics of Hurricane Winds over Georgia for the Period 1961–2022. // European Geographical Studies, E-ISSN: 2413-7197, 10(1), 2023, pp. 8-18, DOI: 10.13187/egs.2023.1.8, <https://egs.cherkasgu.press>
- [26] Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Kutaladze N., Megrelidze L., Tatishvili M. Comparison of the Mean Max Annual, Seasonal and Monthly Air Temperature Variability in Tbilisi and Shovi in 1956-2022. // Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes". Proceedings, ISBN 978-9941-36-147-0, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, 2023, pp. 127-132. [http://www.openlibrary.ge/bitstream/123456789/10418/1/32\\_IG\\_90.pdf](http://www.openlibrary.ge/bitstream/123456789/10418/1/32_IG_90.pdf)
- [27] Amiranashvili A., Bolashvili N., Elizbarashvili E., Liparteliani G., Suknidze N., Tsirgvava G., Varazanashvili O. Statistical Analysis of the Number of Days with Hail and Damage to Agricultural Crops from it in Kvemo Kartli (Georgia). // Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes". Proceedings, ISBN 978-9941-36-147-0, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, 2023, pp. 133-137. <http://www.openlibrary.ge/handle/123456789/10419>
- [28] Beglarashvili N., Jamrishvili N., Janelidze I., Pipia M., Tavidashvili Kh. Analysis of Strong Precipitation in Tbilisi on August 29, 2023. // Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes". Proceedings, ISBN 978-9941-36-147-0, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, 2023, pp. 143-146. <http://www.dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10421>
- [29] Beglarashvili N., Jamrishvili N., Janelidze I., Pipia M., Tavidashvili Kh., Tsintsadze T. Some Results of Statistical Analysis of the Daily Wind Speed in Tbilisi in 1971-2020. // Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes". Proceedings, ISBN 978-9941-36-147-0, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, 2023, pp. 151-155. <http://www.openlibrary.ge/handle/123456789/10423>
- [30] ცინცაძე თ., ლლონტი ნ. საქართველოს ბიოკლიმატური პოტენციალის კვლევა ჰიდრომეტეოროლოგიისა და გეოფიზიკის ინსტიტუტების ერთობლივ სამუშაოებში.// სტუ-ის ჰმი-ის შრომათა კრებული, ISSN: 1512-0902, ტ.133, 2023, გვ. 62-68. <http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/10338/1/133-12.pdf>, doi.org/10.36073/1512-0902-2023-133-62-68

## **A BRIEF OVERVIEW OF THE JOINT WORKS OF THE M. NODIA INSTITUTE OF GEOPHYSICS, TSU AND INSTITUTE OF HYDROMETEOROLOGY, GTU IN THE LAST FIVE YEARS**

**Varamashvili N., Pipia M.**

**Abstract:** *A brief overview of the joint work of the TSU, M. Nodia Institute of Geophysics and the GTU, Institute of Hydrometeorology over the past five years are presented.*

**Key words:** *Hydrometeorology, climate, bioclimate, ecology.*

# ANALYSIS OF VARIABILITY OF MEAN ANNUAL AIR TEMPERATURE IN TBILISI IN 1844-2023 AGAINST THE BACKGROUND OF CLIMATE CHANGE

Amiranashvili A.

M. Nodia Institute of Geophysics of the I. Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia  
avtandilamiranashvili@gmail.com

**Abstract.** The article presents the results of the analysis of the variability of the mean annual air temperature in Tbilisi ( $T_{Tb}$ ) for 1844-2023 against the background of climate change. A comparison of the anomalies of the average annual air temperature in Tbilisi ( $\Delta T_{Tb}$ ) and in the zone of 24°-64° north latitude ( $\Delta T_Z$ ) in 1884-2023 is also made. The trends of the studied parameters are obtained ( $T_{Tb}$  and  $\Delta T_{Tb}$  are fourth-degree polynomials,  $\Delta T_Z$  is a seventh-degree polynomial). It is noted that in the studied locations there has been a significant increase in air temperature in the last decade.

**Key Words:** air temperature, climate change, statistical analysis.

## Introduction

The problem of climate change is well known in the world [1], including in Georgia [2], given the great diversity of climatic regions on its territory. In our latest studies, using various statistical methods, the variability of air temperature and its expected changes in the coming decades for some regions of Georgia (including Tbilisi) were studied [3-10].

This paper presents some results of the study of the variability of the average annual air temperature in Tbilisi against the background of global warming in 1844-2023, and also compares the anomalies of the average annual air temperature in Tbilisi and in the zone of 24°-64° north latitude in 1884-2023.

## Study area, material and methods

Study area – Tbilisi and zone of 24°-64° north latitude.

For the analysis, data of the National Environment Agency of Georgia [<http://www.pogodaiklimat.ru/>] and the NASA Goddard Institute for Space Studies [<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>] are used.

In the proposed work the analysis of data is carried out with the use of the standard statistical analysis methods of random events and methods of mathematical statistics for the non-accidental time series of observations [11, 12].

The following designations will be used below: Mean – average values; Min – minimal values; Max – maximal values; St Dev – standard deviation;  $R^2$  – coefficient of determination; R – coefficient of linear correlation;  $K_{DW}$  – Durbin-Watson statistic.

The curve of trend is equation of the regression of the connection of the investigated parameter with the time at the significant value of the determination coefficient and such values of  $K_{DW}$ , where the residual values are accidental.

Mean annual air temperature and its change rates (first derivative of the trend regression equation) in Tbilisi –  $T_{Tb}$  and  $T'_{Tb}$  respectively; anomalies of the average annual air temperature (deviations from the 1951-1980 means) in Tbilisi –  $\Delta T_{Tb}$  and in the zone of 24°-64° north latitude –  $\Delta T_Z$ ; average annual air temperature anomalies change rates in Tbilisi –  $\Delta T'_{Tb}$  and in zone (24°N-64°N) –  $\Delta T'_Z$ . Period of observations:  $T_{Tb}$  – 1844-2023 (180 years),  $\Delta T_{Tb}$  and  $\Delta T_Z$  – 1884-2023 (140 years).

The statistical programs Data Fit 7 and Excel 16 were used for calculations.

## Results

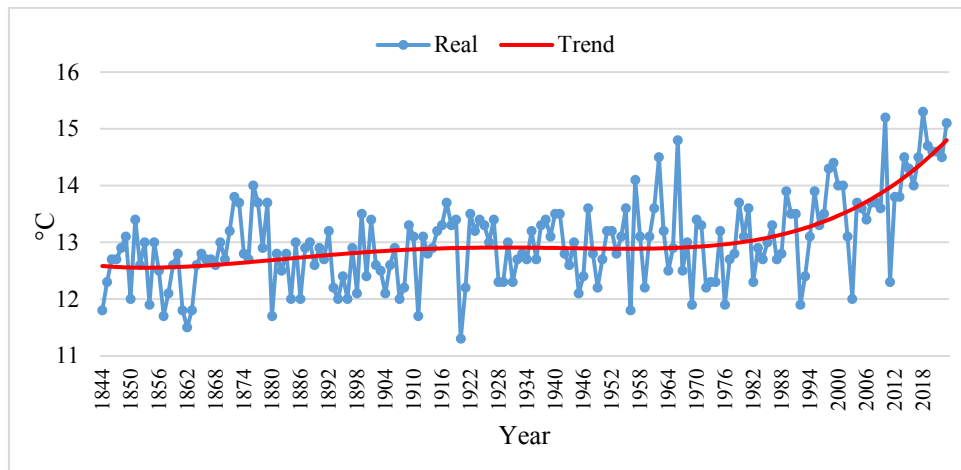
Results in Table 1-4 and Fig. 1-2 are presented.

**Table 1. Statistical characteristics of mean annual air temperature in Tbilisi in 1844-2023.**

**X – the number of years, 1...180**

Min	Max	Mean	St Dev	R <sup>2</sup>	K <sub>DW</sub>
11.3	15.3	13.0	0.76	0.38	1.82
Regression	$a \cdot X^4 + b \cdot X^3 + c \cdot X^2 + d \cdot X + e$				
Coefficient	a	b	c	d	e
Value	1.93E-08	-5.35E-06	0.00045	-0.00764	12.58688

In Table 1 statistical characteristics of mean annual air temperature in Tbilisi in 1844-2023 are presented. As follows from Table 1 value of  $T_{Tb}$  change from 11.3 °C to 15.3 °C with average value 13.0 °C. The air temperature trend in 1844-2023 has the form of a fourth-degree polynomial (Table 1, Fig. 1).



**Fig. 1. Trend of mean annual air temperature in Tbilisi in 1844-2023.**

In Table 2 data on ten-year average annual air temperature and its change rates in Tbilisi in 1844-2023 are presented. In particular, as follows from this Table, over the past thirty years, Tbilisi has seen a significant increase in the values of  $T_{Tb}$  and  $T'_{Tb}$ , with a maximum in 2014-2023 (14.6 °C and 0.73 °C/10 year respectively).

**Table 2. Ten-year average annual air temperature and its change rates in Tbilisi in 1844-2023.**

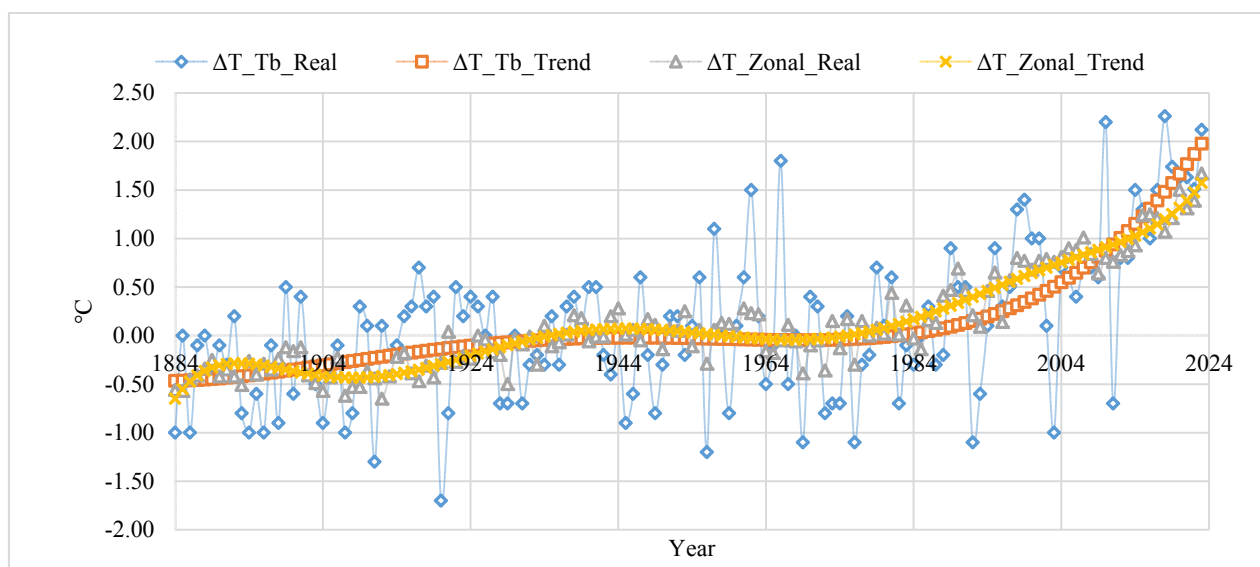
Years	$T_{Tb}$ , °C	$T'_{Tb}$ , °C/10 year	Years	$T_{Tb}$ , °C	$T'_{Tb}$ , °C/10 year
1844-1853	12.7	-0.03	1934-1943	13.1	-0.01
1854-1863	12.2	0.03	1944-1953	12.8	-0.01
1864-1873	13.0	0.06	1954-1963	13.2	0.01
1874-1883	13.0	0.07	1964-1973	12.9	0.05
1884-1893	12.7	0.07	1974-1983	12.9	0.11
1994-1903	12.6	0.06	1984-1993	13.0	0.21
1904-1913	12.6	0.04	1994-2003	13.6	0.34
1914-1923	13.0	0.02	2004-2013	13.7	0.51
1924-1933	12.9	0.00	2014-2023	14.6	0.73

Data on global air temperature changes have been available since 1880. Table 3, 4 and Fig. 2 show the results of a comparative analysis of the variability of air temperature anomalies and the rate of its changes in Tbilisi and in the zone 24°-64° of northern latitude in 1884-2023.

As follows from Table 3 value of  $\Delta T_{Tb}$  change from -1.7 °C to 2.26 °C with average value 0.09 °C, and value of  $\Delta T_z$  - from -0.65 °C to 1.67 °C with average value 0.11 °C. The air temperature anomalies trend in Tbilisi in 1884-2023 has the form of a fourth-degree polynomial, and in zone (24°N-64°N) – the form of a seven-degree polynomial (Table 3, Fig. 2).

**Table 3. Statistical characteristics of mean annual air temperature anomalies in Tbilisi and in zone (24°N-64°N) in 1884-2023. X – the number of years, 1...140.**

Location	Min	Max	Mean	St Dev	R <sup>2</sup>	K <sub>DW</sub>		
Tbilisi	-1.70	2.26	0.09	0.78	0.43	1.98		
24°N-64°N	-0.65	1.67	0.11	0.51	0.91	1.79		
Regression	$\Delta T_{Tb} = a \cdot X^4 + b \cdot X^3 + c \cdot X^2 + d \cdot X + e$							
Coefficient	a		b		c		d	e
Tbilisi	1.93E-08		-5.35E-06		0.00045		-0.00764	12.58688
Regression	$\Delta T_z = a \cdot X^7 + b \cdot X^6 + c \cdot X^5 + d \cdot X^4 + e \cdot X^3 + f \cdot X^2 + g \cdot X + h$							
Coefficient	a	b	c	d	e	f	g	h
24°N-64°N	8.99E-13	-4.60E-10	9.29E-08	-9.36E-06	0.000489	-0.01239	0.132029	-0.76999



**Fig. 2. Trend of mean annual air temperature anomalies in Tbilisi and in zone (24°N-64°N) in 1884-2023.**

**Table 4. Ten-year average annual air temperature and its change rates in Tbilisi and in zone (24°N-64°N) in 1884-2023.**

Years/Variable	$\Delta T_{Tb}, ^\circ\text{C}$	$\Delta T_z, ^\circ\text{C}$	$\Delta T'_{Tb}, ^\circ\text{C}/10 \text{ year}$	$\Delta T'_z, ^\circ\text{C}/10 \text{ year}$
1884-1893	-0.35	-0.43	0.05	0.42
1994-1903	-0.42	-0.28	0.10	-0.12
1904-1913	-0.42	-0.48	0.11	0.01
1914-1923	0.00	-0.27	0.09	0.18
1924-1933	-0.15	-0.16	0.06	0.20
1934-1943	0.08	0.04	0.02	0.09
1944-1953	-0.20	0.08	0.00	-0.04

1954-1963	0.23	0.07	-0.02	-0.07
1964-1973	-0.12	-0.11	0.00	0.02
1974-1983	-0.15	0.08	0.06	0.17
1984-1993	-0.03	0.25	0.17	0.29
1994-2003	0.56	0.64	0.34	0.30
2004-2013	0.68	0.83	0.59	0.27
2014-2023	1.62	1.28	0.92	0.61
R		0.94		0.72

Finally, in Table 4 data on ten-year average annual air temperature and its change rates in Tbilisi and in zone (24°N-64°N) in 1884-2023 are presented.

As follows from Table 4 and Fig. 2, the variability of  $\Delta T_{Tb}$  and  $\Delta T'_{Tb}$  during the studied period of time is in good agreement with the variability of  $\Delta T_Z$  and  $\Delta T'_Z$  respectively. Coefficient of linear correlation between  $\Delta T_{Tb}$  and  $\Delta T_Z$  is 0.94 (very high correlation), and between  $\Delta T'_{Tb}$  and  $\Delta T'_Z$  is 0.72 (high correlation). Maximum increase values of  $\Delta T_{Tb}$ ,  $\Delta T_Z$ ,  $\Delta T'_{Tb}$  and  $\Delta T'_Z$  in 2014-2023 are observed (Table 4).

## Conclusion

In the future, it is planned to continue these studies, including forecasting changes of air temperature in various regions of Georgia for several decades.

## References

- [1] Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S. L., Péan C., Berger S., Caud N., Chen Y., Goldfarb L., Gomis M.I., Huang M., Leitzell K., Lonnoy E., Matthews J.B.R., Maycock T. K., Waterfield T., Yelekçi O., Yu R., Zhou B. (eds.). // IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2021, 41 p.
- [2] Kartvelishvili L., Tatishvili M., Amiranashvili A., Megrelidze L., Kutaladze N. Weather, Climate and their Change Regularities for the Conditions of Georgia. // Monograph: Publishing House “Universal”, Tbilisi, 2023, 406 p., <https://doi.org/10.52340/mng.9789941334658>
- [3] Tavartkiladze K.A., Amiranashvili A.G. Expected Changes of the Air Temperature in Tbilisi City. // Trans. of the Institute of Hydrometeorology, vol. 115, ISSN 1512-0902, Tb., 2005, pp. 57–65, (in Russian).
- [4] Amiranashvili A., Matcharashvili T., Chelidze T. Climate Change in Georgia: Statistical and Nonlinear Dynamics Predictions. // Journal of Georgian Geophysical Soc., Iss. (A), Physics of Solid Earth, vol.15a, Tbilisi, 2011-2012, pp. 67-87.
- [5] Amiranashvili A. Changeability of Air Temperature and Atmospheric Precipitations in Tbilisi for 175 Years. // Int. Sc. Conf. “Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation”. Proc., ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp.189-192.
- [6] Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Trofimenko L.T., Khurodze T.V. The Statistical Evaluation of the Expected Changes of Air Temperature in Tbilisi and St.-Petersburg up to 2056 Years. // Trans. of the Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University, ISSN 1512-0902, vol. 119, 2013, pp. 58-62, (in Russian).
- [7] Amiranashvili A., Chargazia Kh., Trofimenko L. Dynamics of the thirty-year moving average values of the air temperature in Tbilisi and St.-Petersburg with 1851 to 2010 and their extrapolation to 2051-2080. // Int. Conf. “Applied Ecology: Problems, Innovations”, ICAE-2015. Proceedings, Tbilisi-Batumi, Georgia, ISBN 978-9941-0-7644-2, 7-10 May, 2015, Tbilisi, 2015, pp. 12-16 <http://icae-2015.tsu.ge/>
- [8] Amiranashvili A. Variability of the Average Annual Air Temperature in Tbilisi Against the Background of Global Warming in 1880-2021. II International Scientific Conference “Landscape Dimensions of Sustainable Development Science – Carto/GIS – Planning – Governance”, Dedicated to the 75th Anniversary of Professor Nikoloz (Niko) Beruchashvili, Proceedings, 12-16 September 2022, Tbilisi, Georgia, Ivane Javakhishvili Tbilisi State University Press, 2022, ISBN 978-9941-36-030-5, pp. 265-269. <http://www.dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10118>



- [9] Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Kutaladze N., Megreldze L., Tatishvili M. Variability of the Mean Max Annual Air Temperature in 39 Locations of Georgia in 1956-2015. // Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes". Proceedings, ISBN 978-9941-36-147-0, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, 2023, pp. 122-126. <http://109.205.44.60/handle/123456789/10417>
- [10] Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Kutaladze N., Megreldze L., Tatishvili M. Comparison of the Mean Max Annual, Seasonal and Monthly Air Temperature Variability in Tbilisi and Shovi in 1956-2022. // Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes". Proceedings, ISBN 978-9941-36-147-0, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, 2023, pp. 127-132. [http://www.openlibrary.ge/bitstream/123456789/10418/1/32\\_IG\\_90.pdf](http://www.openlibrary.ge/bitstream/123456789/10418/1/32_IG_90.pdf)
- [11] Kendall M.G. Time-series. Moscow, 1981, 200 p., (in Russian).
- [12] Hinkle D. E., Wiersma W., Jurs S. G. Applied Statistics for the Behavioral Sciences. Boston, MA, Houghton Mifflin Company, 2003.

## VARIABILITY OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN TBILISI IN 1844-2023

\***Bolashvili N.**, \*\***Chikhladze V.**, \*\*\*,**Kartvelishvili L.**, \*\*\*\***Tatishvili M.**

\**Vakhushti Bagrationi Institute of Geography of the I. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*

\*\**M. Nodia Institute of Geophysics of the I. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*

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

\*\*\*\**Georgian National Environmental Agency, Tbilisi, Georgia*

**Abstract.** *A statistical analysis of time series of observations of monthly and seasonal (year, cold and warm seasons) values of precipitation amounts in Tbilisi from 1844 to 2023 was carried out. A comparison of monthly and seasonal average precipitation values was carried out for two ninety-year and thirty-year time periods (1844-1933 and 1934-2023, as well as 1844-1873 and 1994-2023). To assess the compatibility of these observation time series, a linear correlation analysis was carried out between them for the specified time periods.*

**Key Words:** *Climate change, atmospheric precipitation, statistical analysis.*

### Introduction

The problem of observed and expected climate changes on our planet has become especially relevant in recent years. This problem is of great importance in Georgia, due to the diversity of climatic regions on its territory [1]. Atmospheric precipitation is one of the most important components of the climate and special attention has always been paid to its research in Georgia [1-4]. In particular, a large number of studies have been conducted on the climatology of seasonal, monthly and daily precipitation amounts [1-4]; the role of precipitation in the formation of bioclimatic conditions of areas [1]; the impact of precipitation deficiency and excess on the provocation of droughts [5], floods [6], landslides [7] and other negative phenomena, etc. As new information accumulated, data on the variability of the precipitation regime in various regions of Georgia were constantly updated [8-12].

In Tbilisi regular meteorological observations were begun into 1844. In [12] standard statistical analysis of changeability of atmospheric precipitations in Tbilisi in 1844-2018 was carried out.

In this work comparison of monthly and seasonal mean values of precipitations for two ninety-year and thirty-year periods of time (1844-1933 and 1934-2023, as well as 1844-1873 and 1994-2023) was carried out. A linear correlation analysis was also carried out between the studied time-series of precipitation observations to assess the monthly and seasonal compatibility of these series in the specified time periods.

### Study area, material and methods

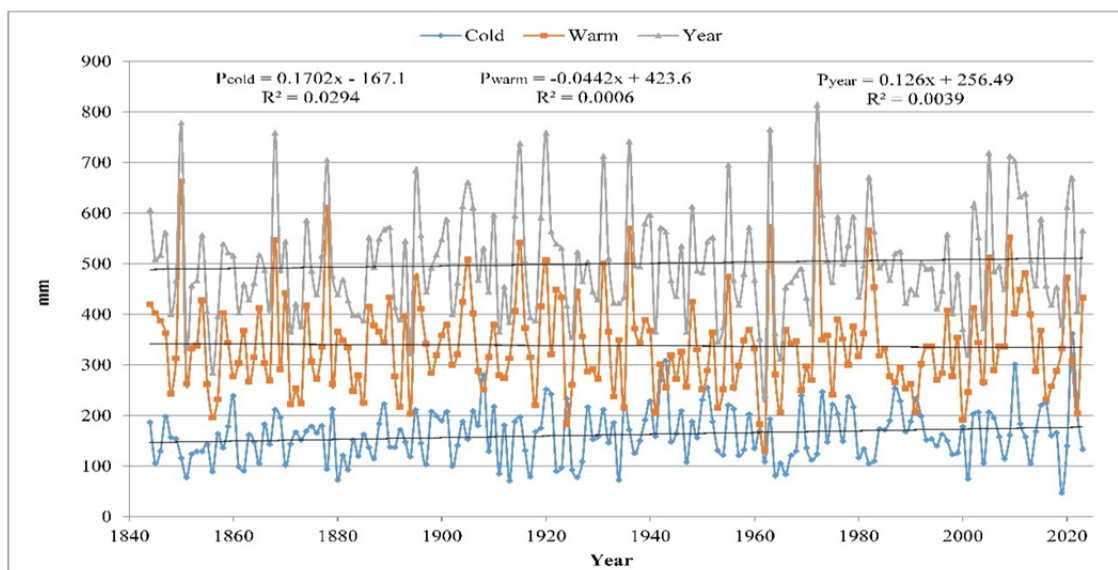
Study area – Tbilisi. Data of the Georgian National Environment Agency about monthly sum of precipitation in Tbilisi in the period from 1844 to 2023 are used. The standard statistical methods are used [13,14]. The following designations will be used below: Mean – average values; Min – minimal values; Max – maximal values; St Dev – standard deviation; St Err – standard error;  $R^2$  – coefficient of determination; R – coefficient of linear correlation;  $C_v$  – coefficient of variation, % ;  $\alpha$  – level of significance; Low and Upp – lower and upper levels of confidence interval of average values with probability 99.999%; P – sum of precipitation, mm (monthly, seasonally: October – March, April – September, January – December –  $P_{cold}$ ,  $P_{warm}$ ,

$P_{year}$ ). Missing observational data using standard methods were recovered [13]. Comparison of mean values of precipitation in two ninety-year and thirty-year periods of time (1844-1933 and 1934-2023, as well as 1844-1873 and 1994-2023) was produced with the use of Student's criterion with the level of significance  $\alpha$  not worse than 0.15. The dimension of atmospheric precipitation (mm) is often omitted from the text below.

## Results

Results in Fig. 1-3 and Table 1 are presented.

Fig. 1 shows data on the variability of seasonal sum of precipitation in Tbilisi in 1844-2023. As follows from this Fig., the values of the linear correlation coefficient  $P_{cold}$ ,  $P_{warm}$  and  $P_{year}$  with the years, respectively, are: 0.14 (negligible correlation), 0.024 (lack of correlation) and 0.062 (lack of correlation). Thus, only in the cold half of the year is a weak positive trend in precipitation observed in the specified period of time.



**Fig. 1. Trend of precipitations in Tbilisi in three period of year in 1844-2023.**

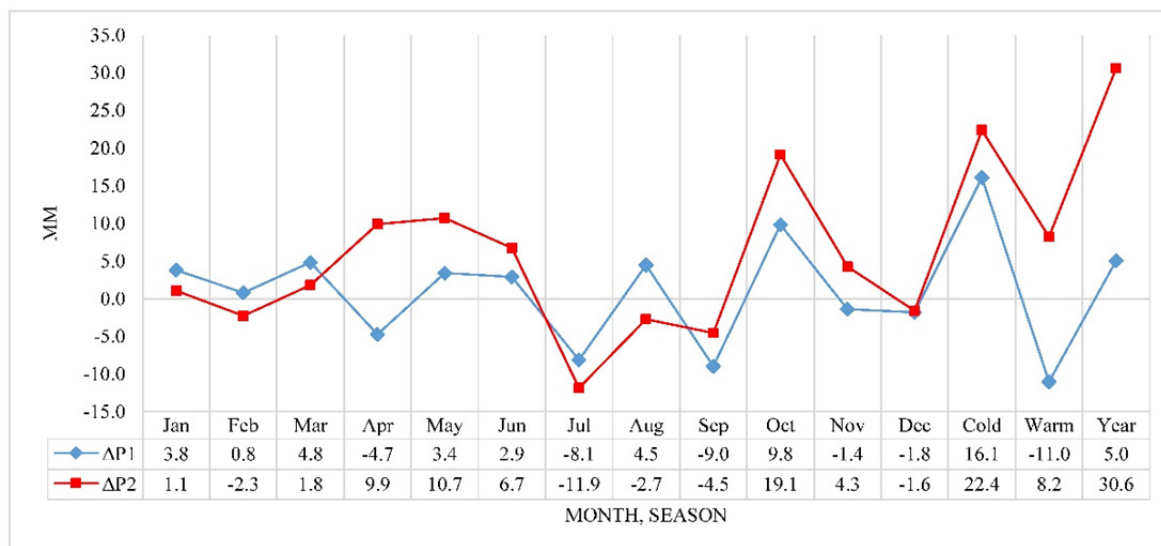
Table 1 presents data on the statistical characteristics of monthly, semi-annual and annual precipitation amounts in Tbilisi in 1844-2023. It also presents data on the significance level of the difference between the average precipitation amounts for two time periods: 1934-2023 and 1844-1933, as well as in 1994-2023 and 1844-1873 (Fig. 2).

**Table 1. Statistical characteristics of monthly, annual and half-year sum of atmospheric precipitations in Tbilisi in 1844-2023.**

Variable	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Cold	Warm	Year
Min	0	0	0	5	0	3	0	0	0	0	0	0	47	131	240
Max	68	87	140	187	267	265	175	203	221	257	126	84	362	690	814
Average	16	21	31	52	82	73	48	40	44	42	32	21	162	338	500
St Dev	13	16	21	30	46	43	35	34	35	34	24	17	52	95	105
St Err	1.0	1.2	1.6	2.3	3.4	3.2	2.6	2.5	2.6	2.5	1.8	1.3	3.9	7.1	7.8
$C_v, \%$	83	75	69	58	56	59	73	85	81	82	75	80	32	28	21
Low	12	16	24	42	67	59	36	28	32	30	24	16	145	307	466
Upp	20	26	38	62	97	87	59	51	55	53	39	27	179	369	535
<b>Level of Significance of Difference: <math>\Delta P1 = P(1934-2023) - P(1844-1933)</math></b>															
$\alpha(t)$	0.05	No	0.12	No	No	No	0.12	No	0.09	0.05	No	No	0.04	No	No
<b>Level of Significance of Difference: <math>\Delta P2 = P(1994-2023) - P(1844-1873)</math></b>															
$\alpha(t)$	No	No	No	No	No	No	0.15	No	No	0.08	No	No	0.10	No	No

In particular, as follows from Table 1, the monthly precipitation amounts in the studied period of time vary from 0 to 267. The average amounts – from 16 (January) to 82 (May). The smallest variations in monthly precipitation amounts are observed in May (56%), the largest – in August (85%).

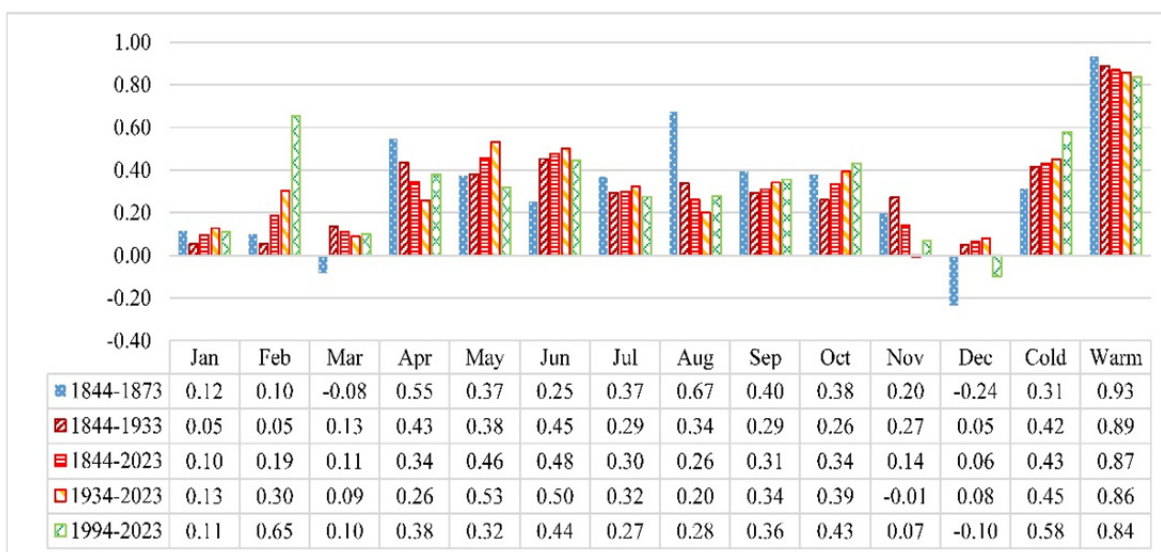
The range of precipitation amounts in the cold half of the year is from 47 to 362, in the warm – from 131 to 690, according to annual data – from 240 to 814. On average, in the warm half of the year in Tbilisi there is approximately 2.09 times more precipitation than in the cold half of the year.



**Fig. 2. The difference between precipitation in Tbilisi in 1934-2023 and 1844-1933, as well as in 1994-2023 and 1844-1873.**

Significant variability of the difference  $\Delta P1$  (Table 1, Fig. 2) is observed in January (increase by 3.8 mm), March (increase by 4.8 mm), July (decrease by 8.1 mm), September (decrease by 9.0 mm), October (increase by 9.8 mm) and in the cold half of the year (increase by 16.1 mm). Significant variability of the difference  $\Delta P2$  is observed in July (decrease by 11.9 mm), October (increase by 19.1 mm) and in the cold half of the year (increase by 22.4 mm).

In Fig. 3 data about coefficients of linear correlation between  $P_{year}$  and  $P_{cold}$ ,  $P_{warm}$  and monthly sum of precipitation in different periods of time are presented. Note:  $R_{min}$  with  $\alpha = 0.05$  for different periods of time are: 180 years –  $\pm 0.14$ , 90 years –  $\pm 0.21$  and 30 years –  $\pm 0.36$ .



**Fig. 3. Linear correlation  $P_{year}$  with  $P_{cold}$ ,  $P_{warm}$  and monthly sum of precipitation in different periods of time.**

In particular, as follows from Fig. 3, the best correlation is observed for the pair  $P_{\text{year}} - P_{\text{warm}}$  and varies from 0.84 (1994-2023, high correlation) to 0.93 (1844-1873, very high correlation). Moreover, in the last thirty-year period, compared to the first, the level of correlation weakens.

For the pair  $P_{\text{year}} - P_{\text{cold}}$  in the last thirty-year period compared to the first, the level the correlation, on the contrary, grows: 0.31 (low correlation) and 0.58 (moderate correlation).

The best correlation for pairs  $P_{\text{year}} - P(\text{Monthly})$  varies from 0.65 (1994-2023, pair  $P_{\text{year}} - P_{\text{Feb}}$ , moderate correlation) to 0.67 (1844-1873, pair  $P_{\text{year}} - P_{\text{Aug}}$ , moderate correlation also).

Finally, we note that, as the analysis of the correlation links between monthly precipitation amounts has shown, the best correlation is observed for the first and last thirty-year periods and varies from -0.52 (pair  $P_{\text{Jun}} - P_{\text{Sep}}$ , moderate correlation) to 0.44 (pair  $P_{\text{Apr}} - P_{\text{Oct}}$ , low correlation) and from -0.43 (pair  $P_{\text{Feb}} - P_{\text{Dec}}$ , low correlation) to 0.42 (pair  $P_{\text{Feb}} - P_{\text{Apr}}$ , low correlation also). For all other time intervals this correlation is negligible.

In general, the level of compatibility of the studied observation time series is quite weak.

## Conclusion

In the future, it is planned to continue these studies, including forecasting changes of atmospheric precipitation in various regions of Georgia for several decades.

## References

- [1] Kartvelishvili L., Tatishvili M., Amiranashvili A., Megrelidze L., Kutaladze N. Weather, Climate and their Change Regularities for the Conditions of Georgia. // Monograph: Publishing House "Universal", Tbilisi, 2023, 406 p., <https://doi.org/10.52340/mng.9789941334658>
- [2] Alibegova D., Elizbarashvili E. Statisticheskaya struktura atmosferykh osadkov v gornikh raionakh. // Leningrad, 1980, 136 p., (in Russian).
- [3] Tavartkiladze K. Saqartveloshi naleqebis ganacilebis statistikuri struktura. // Hidrometeorologiyis institutis Sromebi, "Mecniereba", N 105, 2002, 117 p., (in Georgian).
- [4] Khvedelidze Z., Amiranashvili A., Dolidze J., Chitaladze D., Pavlenishvili N. Statistical Structure of Diurnal Precipitation Distribution on the Territory of Eastern Georgia. // Proc. of I. Javakhishvili Tbilisi State University, Physics, N 357, ISSN 1512-1461, Tbilisi University Press, Tbilisi, 2004, pp. 79-87.
- [5] Tatishvili M., Palavandishvili A., Tsitsagi M., Gulashvili Z., Suknidze N. Drought Evaluation Based on Spei, Spi Indices for Georgian Territory. // Int. Conf. of Young Scientists "Modern Problems of Earth Sciences", Proceedings, ISBN 978-9941-36-044-2, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, November 21-22, 2022, pp. 119-121
- [6] Beglarashvili N., Janelidze I., Pipia M., Varamashvili N. Heavy Rainfall, Floods and Floodings in Kakheti (Georgia) in 2014-2018.// Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 180-184.
- [7] Chelidze T., Amiranashvili A., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Terrestrial and Satellite-Based Assessment of Rainfall Triggered Landslides Activity in Georgia, Caucasus. // Bull. Georg. Nat. Acad. Sci., ISSN: 0132-1447, vol. 17, no. 2, 71-77, 2023, <http://science.org.ge/bnas/vol-17-2.html>
- [8] Amiranashvili A.G. Special Features of Changeability of Daily Sum of Precipitation in Tbilisi in 1957-2006. // Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B, Tbilisi, 2015, pp.81-91.
- [9] Amiranashvili A., Bliadze T., Kartvelishvili L. Statistical Characteristics of Monthly Sums of Atmospheric Precipitations in Tianeti (Georgia) in 1956-2015. // Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. 70, Tb., 2019, pp. 112-118, (in Russian), <http://dSPACE.gela.org.ge/handle/123456789/254>;
- [10] Bliadze T., Gvasalia G., Kirkitadze D., Mekoshkishvili N. Changeability of the Atmospheric Precipitations Regime in Kakheti in 1956-2015. International Scientific Conference "Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation". Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp. 74-77.

- [11] Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Kutaladze N.B., Megrelidze L.D., Tatishvili M.R. Changeability of the Meteorological Parameters Associated with Holiday Climate Index in Different Mountainous Regions of Georgia in 1956-2015. // Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 24(2), 2021, pp. 78-91. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420213326>
- [12] Amiranashvili A. Changeability of Air Temperature and Atmospheric Precipitations in Tbilisi for 175 Years. // Int. Sc. Conf. "Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation". Proc., ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp.189-192.
- [13] Kobisheva N., Narovlianski G. Climatological processing of the meteorological information. // Leningrad, Gidrometeoizdat, 1978, 294 p., (in Russian).
- [14] Hinkle D. E., Wiersma W., Jurs S. G. Applied Statistics for the Behavioral Sciences. // Boston, MA, Houghton Mifflin Company, 2003.

## ANALYSIS OF THE PRECIPITATION REGIME THAT TRIGGERED THE LANDSLIDE IN NERGEETI (IMERETI, GEORGIA) ON FEBRUARY 7, 2024

\*Amiranashvili A., \*\*Brocca L., \*Chelidze T., \*Svanadze D.,  
\*\*\*Tsamalashvili T., \*Varamashvili N.

\*M. Nodia Institute of Geophysics of I. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia  
avtandilamiranashvili@gmail.com

\*\*Research Institute for Geo-Hydrological Protection, Perugia, Italy

\*\*\*A. Janelidze Geological Institute of I. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia

**Abstract.** The results of the analysis of the precipitation regime that caused the landslide in Nergeeti (Imereti, Georgia) on February 7, 2024 are presented (day with landslide and 3, 5, 7, 10, 20 and 30 days before its onset for meteorological stations Kutaisi and Zestaponi). These data were compared with similar generalized data for 75 landslide cases in Imereti. In particular, it was found that the heavy precipitation regime that triggered the landslide in Nergeeti was observed quite rarely in the Imereti region – in 12% of cases out of 75 for the amount of precipitation on the day with the landslide and only in 8% of cases for the accumulated amount of precipitation over 30 days.

**Key Words:** landslides, atmospheric precipitation, rainfall triggering, Imereti, Georgia.

### Introduction

Existing landslide maps in Georgia mainly take into account time-independent spatial factors (slope steepness, lithology, soil and vegetation cover, etc.) and ignore or give very little weight to precipitation [1]. However, recent publications indicate that intense or extreme precipitation may be one of the main causes of landslide activation [2, 3]. Recently, a number of studies have been conducted in Georgia to assess the short-term (days, months) and long-term (century-long) effects of precipitation on landslide occurrence [4-9].

In particular, in the work [7], based on data on 174 landslides with known coordinates and the time of their descent, data are presented on the accumulated amount of precipitation on the day of the landslide and for 3, 5, 7, 10, 20 and 30 days before their activation for 11 regions of Georgia (including Imereti with 25 cases of landslides). Based on these data, average threshold values of precipitation amounts (level, mm) were obtained depending on their duration in hours before landslide activation for Georgia and its individual regions.



Fig. 1. Distribution of landslides on the territory of Imereti.



Currently, taking into account the information from the first created catalogue [10], there are data on 537 landslides in Georgia with known coordinates and activation time up to 2022 (including 75 landslides for Imereti, Fig. 1). Accordingly, we have already created an updated database on the precipitation regime, compared to the work [7]. This database allows for a more detailed analysis of the role of precipitation in landslide activation both in the past and present, as well as forecasting this activation.

In 2024, there were several cases of landslides with severe consequences in Georgia.

On the night of February 6-7 (around 1-2 am) in Western Georgia in the village of Nergeeti in the Baghdati municipality on the right slope of the Khanistskali River valley a rock landslide process was activated (Fig. 1, 2). The landslide developed in the lower part of the slope, on a very steep inclined surface (60-65°), in highly depleted sandstones, tuffs and argillites. The height of the landslide canopy is 30 meters, the width of the landslide in the upper part is 20-25 meters, in the lower part 90-100 meters. The approximate volume of the landslide mass that entered the dynamics is 150000 m<sup>3</sup>. Along with complex tectonic and morphological conditions, the origin and activation of the landslide process were mainly associated with heavy precipitation that fell on February 5-6-7.



**Fig. 2. Landslide in Nergeeti [https://www.radiotavisupleba.ge/a/32895673.html].**

The landslide completely destroyed 4 residential houses and blocked the central highway passing through the right slope near the Khanistskali River. The number of victims of landslides in the village of Nergeeti amounted to nine people [ https://www.apsny.ge/2024/other/1707392803.php].

During these same days, in the highland Adjara, a mud mass covered four houses. Two people died, one was rescued and transported to a medical facility [https://www.ekhokavkaza.com/a/32809564.html].

At this stage of the research, an analysis of the precipitation regime that caused the landslide in Nergeeti on February 7, 2024 (the day with the landslide and 3, 5, 7, 10, 20 and 30 days before it began for the Kutaisi and Zestafoni meteorological stations) was carried out in comparison with similar generalized data on 75 cases of landslides in Imereti. The results of this analysis are presented below.

### **Study area, material and methods**

Study area – Imereti region of Georgia. The data of Georgian National Environmental Agency about the daily sum of atmospheric precipitation are used. Data on landslides with known coordinates and time of their descent are taken from [7,10].

In the proposed work the analysis of data is carried out with the use of the standard statistical analysis methods.

## Results

In Table statistical characteristics on the accumulated sum of precipitation data of meteorological stations in days with landslide and 3, 5, 7, 10, 20 and 30 days before their onset in Imereti for 75 landslides and also in Kutaisi and Zestaponi in day and before landslide in Nergeeti (mm) are presented.

**Table. Statistical characteristics on the accumulated sum of precipitation data of meteorological stations in days with landslide and 3, 5, 7, 10, 20 and 30 days before their onset in Imereti for 75 landslides and also in Kutaisi and Zestaponi in day and before landslide in Nergeeti (mm).**

Variable	Sum 1 day	Sum 3 days	Sum 5 days	Sum 7 days	Sum 10 days	Sum 20 days	Sum 30 days
75 landslides in Imereti							
Mean	10.8	25.4	37.8	47.9	62.0	105.1	142.5
Min	0	0	0	0	0	23.2	32
Max	100.7	180.4	189.8	203.3	258.8	409.4	414.4
St Dev	21.5	38.9	42.1	45.8	52.0	78.0	79.6
St Err	2.5	4.5	4.9	5.3	6.0	9.0	9.2
99.99%(+/-)	9.7	17.5	18.9	20.6	23.3	35.1	35.8
CONF-L	1.1	7.9	18.9	27.4	38.7	70.0	106.7
CONF-U	20.4	42.8	56.7	68.5	85.4	140.1	178.3
Landslide in Nergeeti							
Kutaisi	28.5	93.1	114.0	114.0	114.4	167.7	272.2
Zestaponi	24.0	103.0	122.0	122.0	122.0	192.0	262.0
% from monthly mean of atmospheric precipitation in January in 1936-2024							
Kutaisi	18.6	60.8	74.5	74.5	74.8	109.6	177.9
Zestaponi	15.7	67.3	79.7	79.7	79.7	125.5	171.2

As follows from this Table, in Imereti the average accumulated precipitation amount associated with landslides varies from  $10.8 \pm 9.7$  mm (day with landslides) to  $142.5 \pm 35.8$  mm (30 days before landslides). In one case out of 75, the precipitation amount on the day with a landslide exceeded 100 mm (landslide in Khoni on July 8, 2016). Also, in one case out of 75, the accumulated precipitation amount for 30 days before landslides exceeded 414 mm (landslides in Samtredia on October 16, 2017).

Comparison of precipitation data at meteorological stations in Kutaisi and Zestaponi (25.6 and 19.3 km from Nergeeti, respectively, Fig. 1) with generalized data on landslide-related precipitation for Imereti as a whole shows that Nergeeti experienced an extreme precipitation regime. Thus, the accumulated precipitation amount for three days before the landslide and more at the indicated stations significantly exceeds the corresponding values of the 99.99% upper confidence interval of the average precipitation value for 75 landslide cases.

The average monthly precipitation in January in Kutaisi and Zestaponi in 1936-2024 is 153 mm. The precipitation amount for three days before the landslide was 61-67% of this climatic norm, and the precipitation amount for 30 days before the landslide exceeded this norm by 78% and 71%, respectively.

It should also be noted that for 75 cases of landslide triggering, the daily precipitation amount exceeding 30 mm was observed in 12.0% of cases, and the accumulated precipitation amount for 30 days exceeding 275 mm was observed in only 8.0% of cases.

## Conclusion

In general, the settlement of Nergeeti is considered a landslide-hazardous area of Georgia (Fig. 1) and the Georgian National Environmental Agency issued a warning about the possible activation of landslide

processes here. In addition to Nergeeti, such a warning has also been issued for the settlements of Dimi, Obcha I, Obcha II, Tsitelkhevi, Persati, Shubani and Zegani.

However, the problem is to predict the location and time of activation of landslide processes relatively accurately, taking into account various factors, including precipitation regime (ground-based and satellite data on daily precipitation). We are currently working on solving this problem using all available information on landslides in Georgia and machine learning methods.

## Acknowledgments

This work is supported by Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG), Grant number FR-23-5466, “Machine Learning Approach to the Landslide Activation Prediction in Georgia”.

## References

- [1] Gaprindashvili G., Van Westen, C.J. Generation of a national landslide hazard and risk map for the country of Georgia. // *Nat Hazards*, 2015, DOI 10.1007/s11069-015-1958-5.
- [2] Segoni S., Piciullo L., Gariano S.L. A Review of the Recent Literature on Rainfall Thresholds for Landslide Occurrence. // *Landslides*, 15, 2018, pp. 1483–1501, DOI 10.1007/s10346-018-0966-4.
- [3] Kirschbaum D., Stanley T. Satellite-Based Assessment of Rainfall-Triggered Landslide Hazard for Situational Awareness. // *Earth’s Future*, 6, 2018, pp.505-523, <https://doi.org/10.1002/2017EF000715>
- [4] Amiranashvili A., Chelidze T., Dalakishvili L., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Preliminary Results of a Study of the Relationship Between the Monthly Mean Sum of Atmospheric Precipitation and Landslide Cases in Georgia. // *Journal of the Georgian Geophysical Society*, ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 23(2), 2020, pp. 37 – 41. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2320202726>
- [5] Amiranashvili A., Chelidze T., Dalakishvili L., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Preliminary Results of a Study of the Relationship Between the Variability of the Mean Annual Sum of Atmospheric Precipitation and Landslide Processes in Georgia. // *Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“*, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 202-206.  
[http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/8809/1/Eco\\_2020\\_3.33.pdf](http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/8809/1/Eco_2020_3.33.pdf)
- [6] Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Some Results of a Study of the Relationship Between the Mean Annual Sum of Atmospheric Precipitation and Re-Activated and New Landslide Cases in Georgia Taking into Account of Climate Change. // *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 25(2), 2022, pp. 38–48. <https://openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/5959>, DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2520225959>
- [7] Chelidze T., Amiranashvili A., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Terrestrial and Satellite-Based Assessment of Rainfall Triggered Landslides Activity in Georgia, Caucasus. // *Bull. Georg. Nat. Acad. Sci.*, vol. 17, no. 2, 71-77, 2023, <http://science.org.ge/bnas/vol-17-2.html>
- [8] Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Abnormal Precipitation Before the Landslide in Akhaldaba (A Suburb of Tbilisi, Georgia) on June 13, 2015 According to Radar Measurements. // *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 26(1), 2023, pp. 30–41.
- [9] Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Study of the Relationship Between the Mean Annual Sum of Atmospheric Precipitation and Re-Activated and New Mudflow Cases in Georgia. // *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 26(1), 2023, pp. 19–29.  
<https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/6958>; DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2620236958>
- [10] Varazanashvili O., Gaprindashvili G., Elizbarashvili E., Basilashvili Ts., Amiranashvili A., Fuchs S. The First Natural Hazard Event Database for the Republic of Georgia (GeNHs). // *Catalog*, 2023, 270 p.  
<http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10369>; DOI: 10.13140/RG.2.2.12474.57286

## COMPARISON OF SATELLITE AND GROUND-BASED DATA ON SEMI-ANNUAL AND ANNUAL SUM OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION FOR 26 POINTS IN GEORGIA IN 2001-2020

\*Amiranashvili A., \*Chelidze T., \*Svanadze D.,  
\*\*Tsamalashvili T., \*Varamashvili N.

\*M. Nodia Institute of Geophysics of I. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia  
avtandilamiranashvili@gmail.com

\*\*A. Janelidze Geological Institute of I. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia

**Abstract.** The paper compares satellite ( $P_S$ ) and ground-based ( $P_M$ ) data on semi-annual and annual precipitation for 26 points in Georgia for 2001-2020. In particular, it was found that the relationship between  $P_S$  and  $P_M$  is satisfactorily described by a linear equation.

**Key Words:** atmospheric precipitation, ground-based and satellite measurements.

### Introduction

In scientific research, accurate and timely precipitation information is often needed to better understand and model severe floods [1,2], droughts [3], water resources [4], landslides and mudflows [5-13]. Global satellite precipitation data (GPM) help to better prepare for and respond to a wide range of natural disasters [<https://gpm.nasa.gov>].

At the same time, the use of satellite precipitation data requires comparison with ground-based measurements. Such comparisons for monthly and annual precipitation data, in particular, are given in [4, 14-16]. This article compares ground-based and satellite measurements of semi-annual and annual precipitation amounts for 26 points in Georgia in 2001-2020.

### Study area, material and methods

Study area – 26 meteorological stations in Georgia (Akhalkalaki, Akhaltsikhe, Ambrolauri, Bakuriani, Bolnisi, Borjomi, Chokhatauri, Dedoplistskaro, Gori, Khashuri, Khulo, Lagodekhi, Mta-Sabueti, Pasanauri, Poti, Kobuleti, Kutaisi, Sachkhere, Sagarejo, Shovi, Tbilisi, Telavi, Tianeti, Tsalka, Zestafoni, Zugdidi). Information on the coordinates and altitudes of these stations is presented in [17].

The data of Georgian National Environmental Agency and GPM Global Satellite Precipitation Data [[https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=GPM\\_3IMERGM](https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=GPM_3IMERGM)] about the monthly sum of atmospheric precipitation for these points from January 2001 to December 2020 (240 months to station) are used.

In the proposed work the analysis of data is carried out with the use of the standard statistical analysis methods [18]. The following designations will be used below: satellite ( $P_S$ ) and ground-based ( $P_M$ ) data on mean sum of atmospheric precipitation; Cold Period: October-March; Warm Period: April-September;  $R$  – coefficient of linear correlation;  $\alpha$  – the level of significance.

The degree of correlation was determined in accordance with [18]: very high correlation ( $0.9 \leq R \leq 1.0$ ); high correlation ( $0.7 \leq R < 0.9$ ); moderate correlation ( $0.5 \leq R < 0.7$ ); low correlation ( $0.3 \leq R < 0.5$ ); negligible correlation ( $0 \leq R < 0.3$ ).

## Results

Results in Table 1 and 2 are presented.

In Table 1 information on satellite and ground-based data on mean sum of atmospheric precipitation in the three periods of year for 26 points in Georgia in 2001-2020 is presented.

**Table 1. Information on satellite ( $P_S$ ) and ground-based ( $P_M$ ) data on mean sum of atmospheric precipitation in the three periods of year for 26 points in Georgia in 2001-2020.**

Period	Cold Period			Warm Period			Year		
	$P_S$ , mm	$P_M$ , mm	$P_S/P_M$	$P_S$ , mm	$P_M$ ,mm	$P_S/P_M$	$P_S$ , mm	$P_M$ ,mm	$P_S/P_M$
Akhalkalaki	337	193	1.75	471	378	1.24	807	571	1.41
Akhaltzikhe	540	182	2.97	551	376	1.46	1091	558	1.95
Ambrolauri	746	526	1.42	651	532	1.22	1397	1058	1.32
Bakuriani	412	345	1.20	510	491	1.04	923	836	1.10
Bolnisi	244	188	1.30	458	346	1.32	701	534	1.31
Borjomi	464	284	1.63	521	354	1.47	984	638	1.54
Chokhatauri	895	1019	0.88	755	677	1.11	1650	1696	0.97
Dedoplistskaro	270	212	1.28	431	366	1.18	701	578	1.21
Gori	382	217	1.76	528	304	1.74	911	522	1.75
Khashuri	497	282	1.76	528	305	1.73	1025	587	1.75
Khulo	776	921	0.84	648	579	1.12	1424	1499	0.95
Lagodekhi	293	496	0.59	486	809	0.60	780	1306	0.60
Mta-Sabueti	523	741	0.71	535	456	1.17	1058	1196	0.88
Pasanauri	384	353	1.09	567	611	0.93	951	964	0.99
Poti	1046	993	1.05	884	1150	0.77	1930	2143	0.90
Kobuleti	1096	1482	0.74	831	1125	0.74	1927	2607	0.74
Kutaisi	828	797	1.04	706	566	1.25	1534	1363	1.13
Sachkhere	625	506	1.24	568	488	1.16	1193	994	1.20
Sagarejo	258	264	0.98	441	469	0.94	699	733	0.95
Shovi	595	515	1.15	574	644	0.89	1169	1159	1.01
Tbilisi	283	163	1.74	495	360	1.37	778	523	1.49
Telavi	271	238	1.14	470	537	0.87	741	775	0.96
Tianeti	331	218	1.51	523	399	1.31	854	618	1.38
Tsalka	303	171	1.77	488	474	1.03	791	645	1.23
Zestafoni	672	775	0.87	614	478	1.28	1286	1253	1.03
Zugdidi	983	929	1.06	877	928	0.94	1860	1857	1.00
Mean	541	500	1.29	581	546	1.15	1122	1047	1.18
Min	244	163	0.59	431	304	0.60	699	522	0.60
Max	1096	1482	2.97	884	1150	1.74	1930	2607	1.95

As follows from Table 1, the variability of the average values of the studied parameters is as follows.

Cold Period: 244 mm (Bolnisi)  $\leq P_S \leq$  1096 mm (Kobuleti); 163 mm (Tbilisi)  $\leq P_M \leq$  1482 mm (Kobuleti); 0.59 (Lagodekhi)  $\leq P_S/P_M \leq$  2.97 (Akhaltzikhe).

Warm Period: 431 mm (Dedoplistskaro)  $\leq P_S \leq$  884 mm (Poti); 304 mm (Gori)  $\leq P_M \leq$  1150 mm (Poti); 0.60 (Lagodekhi)  $\leq P_S/P_M \leq$  1.74 (Gori).

Year: 699 mm (Sagarejo)  $\leq P_S \leq$  1930 mm (Poti); 522 mm (Gori)  $\leq P_M \leq$  2607 mm (Kobuleti); 0.60 (Lagodekhi)  $\leq P_S/P_M \leq$  1.95 (Akhaltzikhe).

On average, per weather station, the excess of satellite precipitation data over ground-based data is as follows: Cold Period – on 29 %, Warm Period – on 15 %, Year – on 18 %.

In Table 2 information on parameters of linear correlations and regression between satellite and ground-based data on sum of atmospheric precipitation in the three periods of year for 26 points in Georgia in 2001-2020 is presented.

As follows from Table 2, the variability of the R values of the studied parameters is as follows.

Cold Period: 0.53 (Zestafoni, moderate correlation)  $\leq R \leq$  0.92 (Bolnisi, very high correlation); Warm Period: 0.47 (Kobuleti, low correlation)  $\leq R \leq$  0.94 (Zugdidi, very high correlation); Year: 0.34 (Mta-Sabueti, low correlation)  $\leq R \leq$  0.90 (Zugdidi, high correlation). On average, per weather station, mean value of R change from 0.70 to 0.76 (high correlation).

**Table 2. Information on parameters of linear correlations and regression between satellite and ground-based data on sum of atmospheric precipitation in the three periods of year for 26 points in Georgia in 2001-2020.**

$$P_S = a \cdot P_M + b, (R_{\min} = 0.34, \alpha = 0.15)$$

Period	Cold Period			Warm Period			Year		
	R	a	b	R	a	b	R	a	b
Akhalkalaki	0.76	0.83	175.6	0.82	0.54	265.3	0.81	0.62	452.5
Akhaltzikhe	0.62	1.34	295.3	0.69	0.68	295.7	0.62	1.07	492.2
Ambrolauri	0.65	0.74	355.8	0.64	0.59	336.6	0.59	0.60	757.7
Bakuriani	0.65	0.64	190.9	0.82	0.68	174.7	0.78	0.64	386.6
Bolnisi	0.92	1.06	45.1	0.79	0.83	169.5	0.83	1.07	129.8
Borjomi	0.75	1.15	135.6	0.78	0.65	290.4	0.74	0.90	412.1
Chokhatauri	0.73	0.64	239.9	0.85	0.61	341.0	0.79	0.70	467.9
Dedoplistskaro	0.81	0.66	129.3	0.70	0.51	245.7	0.68	0.45	440.8
Gori	0.69	1.01	163.4	0.75	0.83	276.6	0.78	1.03	374.3
Khashuri	0.78	0.90	242.4	0.67	0.77	294.2	0.76	0.92	482.4
Khulo	0.90	0.86	-15.1	0.84	0.62	291.3	0.89	0.79	244.6
Lagodekhi	0.66	0.27	159.0	0.70	0.29	250.4	0.61	0.24	470.6
Mta-Sabueti	0.54	0.35	267.1	0.59	0.42	343.6	0.34	0.26	747.0
Pasanauri	0.87	0.55	190.7	0.73	0.36	346.4	0.71	0.38	582.4
Poti	0.74	0.65	404.7	0.79	0.32	513.6	0.64	0.38	1115.5
Kobuleti	0.83	0.63	168.3	0.47	0.20	601.4	0.64	0.46	738.1
Kutaisi	0.79	0.94	76.4	0.83	0.81	246.7	0.76	0.94	251.0
Sachkhere	0.64	0.77	235.1	0.49	0.39	378.0	0.36	0.36	836.1
Sagarejo	0.88	0.62	95.3	0.65	0.48	216.5	0.74	0.48	350.9
Shovi	0.73	0.57	302.2	0.63	0.58	198.4	0.63	0.52	561.2
Tbilisi	0.91	0.95	129.1	0.64	0.45	333.4	0.82	0.62	455.0
Telavi	0.90	0.79	82.7	0.70	0.50	199.2	0.77	0.61	269.1
Tianeti	0.84	0.65	187.9	0.69	0.37	374.5	0.73	0.41	601.5
Tsalka	0.88	1.02	128.3	0.82	0.59	206.0	0.86	0.76	303.7
Zestafoni	0.53	0.36	391.0	0.52	0.42	413.9	0.42	0.31	902.2
Zugdidi	0.80	0.86	182.9	0.94	0.72	204.8	0.90	0.90	177.7
Mean	0.76			0.71			0.70		
Min	0.53			0.47			0.34		
Max	0.92			0.94			0.90		

## Conclusion

In the future, it is planned to continue these studies for monthly and daily sum of atmospheric precipitation.

## Acknowledgments

This work is supported by Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG), Grant number FR-23-5466, “Machine Learning Approach to the Landslide Activation Prediction in Georgia”.

## References

- [1] Amiranashvili A., Basilashvili Ts., Elizbarashvili E., Varazanashvili O. Catastrophic Floods in the Vicinity of Tbilisi. Transactions IHM, GTU, ISSN: 1512-0902, vol.133, 2023, pp. 56-61, (in Georgian), doi.org/10.36073/1512-0902-2023-133-56-61; <http://openlibrary.ge/bitstream/123456789/10337/1/133-11.pdf>; doi.org/10.36073/1512-0902-2023-133-56-61
- [2] Beglarashvili N., Jamrlishvili N., Janelidze I., Pipia M., Tavidashvili Kh. Analysis of Strong Precipitation in Tbilisi on August 29, 2023. Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes". Proceedings, ISBN 978-9941-36-147-0, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, 2023, pp. 143-146. <http://www.dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10421>
- [3] Kartvelishvili L., Tatishvili M., Amiranashvili A., Megrelidze L., Kotaladze N. Weather, Climate and their Change Regularities for the Conditions of Georgia. Monograph, Publishing House “UNIVERSAL”, ISBN: 978-9941-33-465-8, Tbilisi 2023, 406 p., <https://doi.org/10.52340/mng.9789941334658>
- [4] Tselashvili N., Biggs T., Ye Mu, Trapaidze V. Regional precipitation regimes and evaluation of national precipitation datasets against satellite-based precipitation estimates, Republic of Georgia. // Journal of Hydrometeorology, Volume 25: Issue 4, 2024, pp. 591–600. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-23-0116.1>
- [5] Amiranashvili A., Chelidze T., Dalakishvili L., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Preliminary Results of a Study of the Relationship Between the Monthly Mean Sum of Atmospheric Precipitation and Landslide Cases in Georgia. // Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 23(2), 2020, pp. 37 – 41. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2320202726>
- [6] Amiranashvili A., Chelidze T., Dalakishvili L., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Preliminary Results of a Study of the Relationship Between the Variability of the Mean Annual Sum of Atmospheric Precipitation and Landslide Processes in Georgia. // Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 202-206. [http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/8809/1/Eco\\_2020\\_3.33.pdf](http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/8809/1/Eco_2020_3.33.pdf)
- [7] Stankevich S.A., Titarenko O.V, Svideniuk M.O. Landslide susceptibility mapping using GIS-based weight-of-evidence modelling in central Georgian regions. // Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation“, Proceedings, Tbilisi, Georgia, December 12-14, 2019, pp. 187-190.
- [8] Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Some Results of a Study of the Relationship Between the Mean Annual Sum of Atmospheric Precipitation and Re-Activated and New Landslide Cases in Georgia Taking into Account of Climate Change. // Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 25(2), 2022, pp. 38–48. <https://openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/5959>, DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2520225959>
- [9] Chelidze T., Amiranashvili A., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Terrestrial and Satellite-Based Assessment of Rainfall Triggered Landslides Activity in Georgia, Caucasus. // Bull. Georg. Nat. Acad. Sci., vol. 17, no. 2, 71-77, 2023, <http://science.org.ge/bnas/vol-17-2.html>
- [10] Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Abnormal Precipitation Before the Landslide in Akhaldaba (A Suburb of Tbilisi, Georgia) on June 13, 2015 According to Radar Measurements. // Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 26(1), 2023, pp. 30–41.
- [11] Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Study of the Relationship Between the Mean Annual Sum of Atmospheric Precipitation and Re-Activated and New Mudflow Cases in Georgia. // Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 26(1), 2023, pp. 19–29. <https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/6958>; DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2620236958>
- [12] Segoni S., Piciullo L., Gariano S.L. A Review of the Recent Literature on Rainfall Thresholds for Landslide Occurrence. // Landslides, 15, 2018, pp. 1483–1501, DOI 10.1007/s10346-018-0966-4.



- [13] Kirschbaum D., Stanley T. Satellite-Based Assessment of Rainfall-Triggered Landslide Hazard for Situational Awareness. // *Earth's Future*, 6, 2018, pp.505-523, [https:// doi.org/10.1002/, 2017EF000715](https://doi.org/10.1002/2017EF000715)
- [14] Retalis A., Katsanos D., Tymvios F., Michaelides S. Comparison of GPM IMERG and TRMM 3B43 Products over Cyprus. // *Remote Sens.* 12, 3212, 2020, 18 p., doi:10.3390/rs12193212
- [15] Akinyemi D.F., Ayanlade O.S., Nwaezeigwe J.O., Ayanlade A. A Comparison of the Accuracy of Multi-satellite Precipitation Estimation and Ground Meteorological Records Over Southwestern Nigeria. // *Remote Sens.* 12, 3964, 2020, 22 p., doi:10.3390/rs12233964
- [16] Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Comparison of Data from Ground-Based and Satellite Measurements of the Monthly Sum of Atmospheric Precipitation on the Example of Tbilisi City in 2001-2020. // *Int. Conf. of Young Scientists "Modern Problems of Earth Sciences"*. Proceedings, ISBN 978-9941-36-044-2, Publish House of Iv. Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, November 21-22, 2022, pp. 154-158. [http://openlibrary.ge/bitstream/123456789/10251/1/37\\_YSC\\_2022.pdf](http://openlibrary.ge/bitstream/123456789/10251/1/37_YSC_2022.pdf)
- [17] Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. On the Representativeness of Data from Meteorological Stations in Georgia for Annual and Semi-Annual Sum of Atmospheric Precipitation Around of These Stations. // *Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“*. Proceedings, ISBN: 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 79 – 83.
- [18] Hinkle D. E., Wiersma W., Jurs S.G. *Applied Statistics for the Behavioral Sciences*. // Boston, MA, Houghton Mifflin Company, ISBN: 0618124055; 9780618124053, 2003, 756 p.

## SOME RESULTS OF ANALYSIS OF HEAVY PRECIPITATION IN TBILISI ON JULY 7, 2024 BASED ON GROUND -LEVEL AND SATELLITE MEASUREMENTS

**\*Beglarashvili N.,\*\*Jamrishvili N., \*\*\*Janelidze I., \*,\*\* Pipia M., \*\*Tavidashvili Kh.**

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

*\*\* Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*

*\*\*\*Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia*

*beglarashvilinani@yahoo.com*

**Abstract:** *In the work some results of heavy precipitation analysis in Tbilisi on July 7, 2024 based on ground-level and satellite measurements are presented.*

**Key Words:** *atmospheric precipitation, flooding, flood.*

### Introduction

Precipitation is one of the most important climate-forming factors directly affecting the vital activity of the environment. Therefore, as in other countries, special attention has always been paid to the study of the intensity and spatial-temporal distribution of precipitation in Georgia [1-5]. The relevance of these studies has increased even more against the background of the ongoing process of global warming [6]. Heavy precipitation leads to floods, landslides, mudflows, damage to vegetation, etc. [7-12]. Precipitation deficiency contributes to droughts, desertification, decreased crop yields and other negative processes [6,7]. Floods and landslides due to heavy precipitation most often occur in Western Georgia, although in its eastern part, including Tbilisi, these processes are not so rare [7-12]. Thus, heavy rainfall over several days led to a landslide with casualties in Nergeti (Imereti) on February 7, 2024 [13]. Heavy rainfall in Tbilisi on August 29, 2023 (more than 100 mm) led to flooding of significant areas of the city and damage to its infrastructure [14].

This work is a continuation of previous traditional studies. Some results of heavy precipitation analysis in Tbilisi on July 7, 2024 based on ground-level and satellite measurements are presented below.

### Study area, material and methods

Study area – Georgia and Tbilisi. The following information are used.

Data of Georgian National Environmental Agency and satellite observation data [[https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=GPM\\_3IMERGM](https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=GPM_3IMERGM)] about the daily sum of atmospheric precipitation. Satellite measurement resolution is  $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$  ( $\approx 90 \text{ km}^2$ ). Accordingly, for the territory of Georgia there are satellite data on precipitation for 768 points.

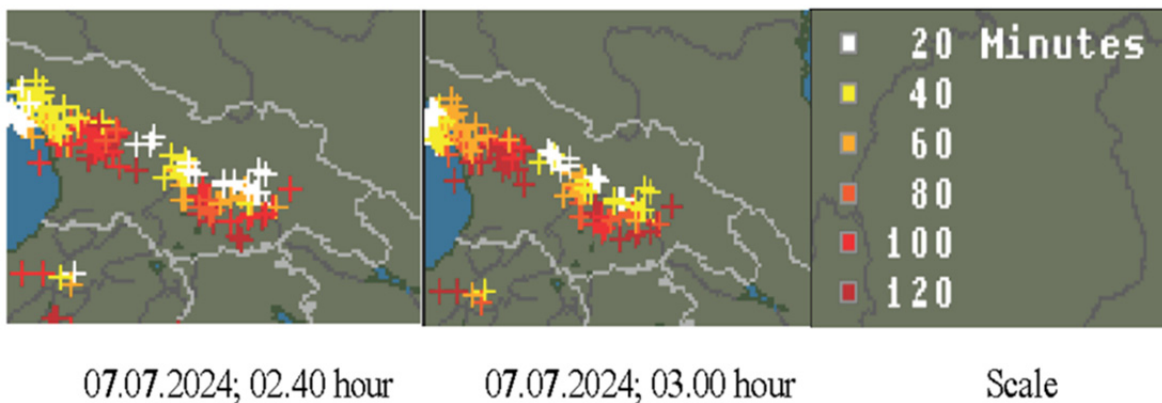
Lightning data from [[https://www.blitzortung.org/ru/live\\_lightning\\_maps.php?map=42](https://www.blitzortung.org/ru/live_lightning_maps.php?map=42)].

In the proposed work the analysis of data is carried out with the use of the standard statistical analysis methods.

### Results and discussion

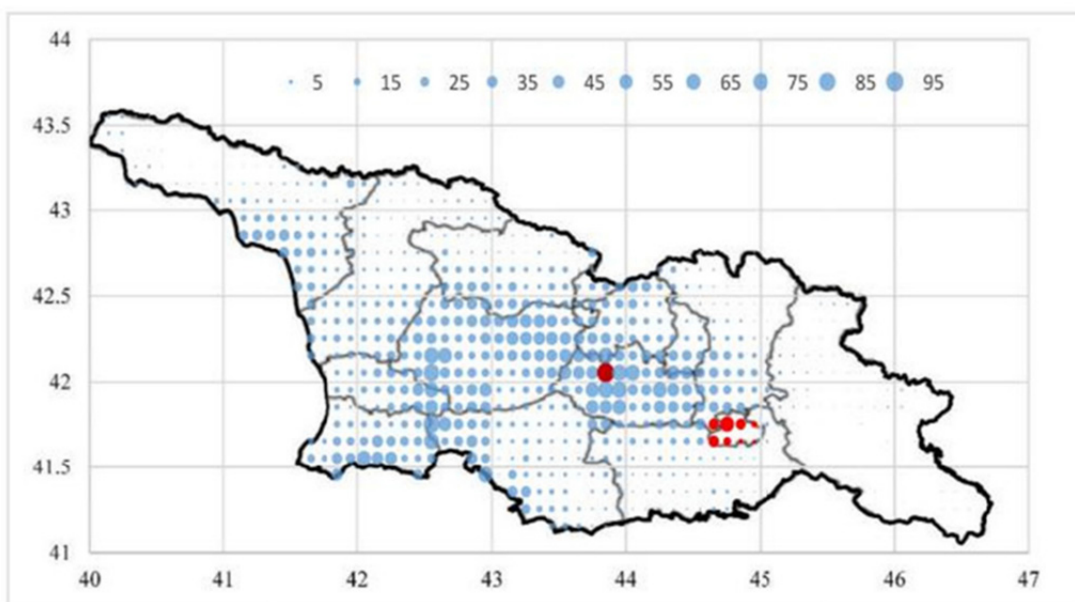
Results in Fig. 1-4 and Table are presented.

On July 7, 2024 thunderstorms with heavy precipitation were observed over various parts of the territory of Georgia (including Tbilisi).



**Fig. 1. An example of the distribution of lightning discharges over the territory of Georgia on July 7, 2024 at 02.40 and 03.00 hours.**

In Fig. 1 an example of the distribution of lightning discharges over the territory of Georgia (including Tbilisi) on July 7, 2024 at 02.40 and 03.00 hours.



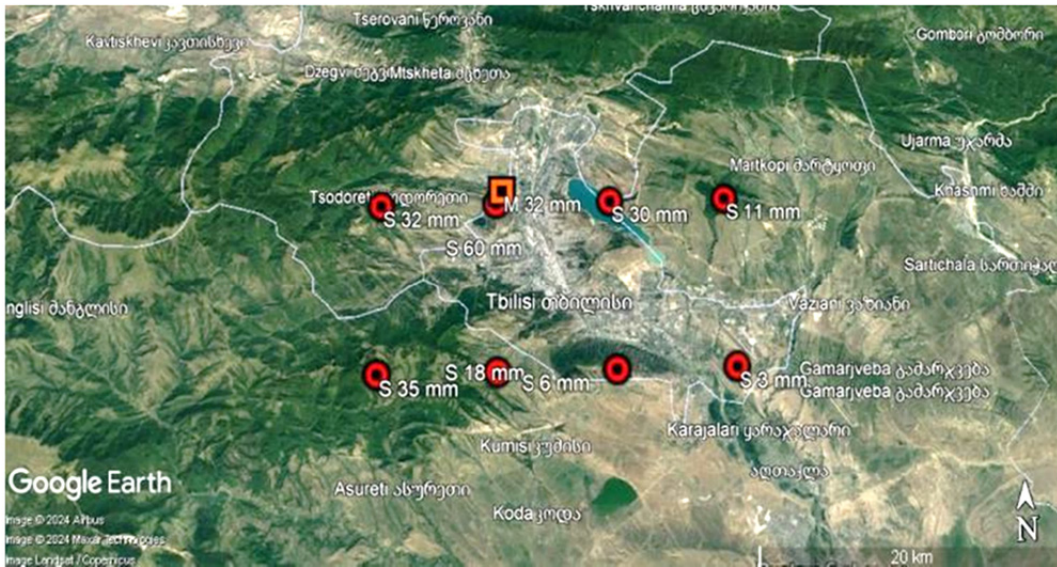
**Fig. 2. Distribution of daily sum of atmospheric precipitations on the territory of Georgia at July 7, 2024 according to satellite measurement.**

In Fig. 2 and Table data about daily sum of atmospheric precipitations on the territory of Georgia at July 7, 2024 according to satellite measurement are presented.

**Table. Statistical characteristics of daily sum of atmospheric precipitations on the territory of Georgia at July 7, 2024 according to satellite measurement (Fig. 2).**

Min	Max	Average	St Dev	St Err	Count
0.01	93.6	11.9	15.0	0.54	768

As follows from the Table, on the specified day, in accordance with satellite data, the precipitation amount varied from 0.01 mm to 93.6 mm (Doghlauri, Kareli Municipality, Shida Kartli, Georgia), with an average value of 11.9 mm. In Tbilisi and its environs, the daily precipitation amount varied from 3 to 60 mm (Fig. 3). It is important to note that in the area of the weather station in Digomi, the satellite measurement data were almost twice as high as the ground measurement data (60 mm and 32 mm, respectively, Fig. 3).



**Fig. 3. Data on daily sum of atmospheric precipitations in Tbilisi at July 7, 2024 according to ground-level and satellite measurement. S – satellite data, M – data of meteorological station.**



**Fig. 4. An examples of the negative consequences of a heavy rainfall on two streets in Tbilisi on July 7, 2024.**  
[\[https://www.interpressnews.ge/ru/article/161466-meriia-tbilisi-upavshie-v-rezultate-nepogody-derevia-povredili-doma-avtomobili-i-kommunikatsii-silnyi-veter-sorval-kryshi-s-domov-vedetsia-uchet-ushcherba;](https://www.interpressnews.ge/ru/article/161466-meriia-tbilisi-upavshie-v-rezultate-nepogody-derevia-povredili-doma-avtomobili-i-kommunikatsii-silnyi-veter-sorval-kryshi-s-domov-vedetsia-uchet-ushcherba)  
[https://news.am/rus/news/832873.html#google\\_vignette\].](https://news.am/rus/news/832873.html#google_vignette)

Finally, we note that the heavy rain that hit Tbilisi late at night, accompanied by strong winds, created problems in the capital. The Samgori, Krtsanisi and Saburtalo districts were particularly hard hit. Trees that fell as a result of the storm damaged houses, cars and utilities. In several places, strong winds tore off roofs from residential buildings (Fig. 4). Representatives of the relevant government agencies were in all the problem areas all night long, dealing with the consequences of the storm [<https://www.apsny.ge/2024/pol/1720357281.php>].

### **Conclusion**

In the future, we plan to continue similar studies for both Tbilisi and other regions of Georgia using ground-based and satellite measurement data against the backdrop of climate change.

### **Acknowledgement**

The research is done with the support of "Shota Rustaveli National Scientist Foundation" [Grant number – FR-22-2882].

The authors are grateful to the chief of the atmospheric physics department of M. Nodia Institute of Geophysics A. Amiranashvili for assistance in the fulfillment of this work.

## References

- [1] Алибегова Д., Элизбарашвили Э. Статистическая структура атмосферных осадков в Горных районах.// Ленинград, 1980, 136 с.
- [2] ჯავახიშვილი ს. ატმოსფერული ნალექები საქართველოს ტერიტორიაზე. // თსუ, 1981, 181 გვ.
- [3] თავართქილაძე კ. საქართველოში ნალექების განაწილების სტატისტიკური სტრუქტურა. // ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, „მეცნიერება“, N 105, 2002 წ., 117 გვ.
- [4] Khvedelidze Z., Amiranashvili A., Dolidze J., Chitaladze D., Pavlenishvili N. Statistical Structure of Diurnal Precipitation Distribution on the Territory of Eastern Georgia. // Proc. of I. Javakhishvili Tbilisi State University, Physics, N 357, ISSN 1512-1461, Tbilisi University Press, Tbilisi, 2004, pp. 79-87.
- [5] Amiranashvili A.G. Special Features of Changeability of Daily Sum of Precipitation in Tbilisi in 1957-2006. // Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B, Tbilisi, 2015, pp.81-91.
- [6] Kartvelishvili L., Tatishvili M., Amiranashvili A., Megrelidze L., Kutaladze N. Weather, Climate and their Change Regularities for the Conditions of Georgia. // Monograph, Publishing House “UNIVERSAL”, Tbilisi 2023, 406 p., <https://doi.org/10.52340/mng.9789941334658>
- [7] Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia Sh., Arevadze N., Gventcadze A. Vulnerability, Hazards and Multiple Risk Assessment for Georgia. // Natural Hazards, Vol. 64, Number 3, 2021-2056, 2012, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, <http://www.springerlink.com/content/9311p18582143662/fulltext.pdf>
- [8] Amiranashvili A., Basilashvili Ts., Elizbarashvili E., Varazanashvili O. Catastrophic Floods in the Vicinity of Tbilisi. // Transactions IHM, GTU, vol.133, 2023, pp. 56-61, (in Georgian), [doi.org/10.36073/1512-0902-2023-133-56-61](https://doi.org/10.36073/1512-0902-2023-133-56-61); <http://openlibrary.ge/bitstream/123456789/10337/1/133-11.pdf>
- [9] Varazanashvili O., Gaprindashvili G., Elizbarashvili E., Basilashvili Ts., Amiranashvili A., Fuchs S. The First Natural Hazard Event Database for the Republic of Georgia (GeNHs). // Catalog, 2023, 270 p. <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10369>
- [10] Chelidze T., Amiranashvili A., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Terrestrial and Satellite-Based Assessment of Rainfall Triggered Landslides Activity in Georgia, Caucasus. Bull. Georg. Nat. Acad. Sci., vol. 17, no. 2, 71-77, 2023, <http://science.org.ge/bnas/vol-17-2.html>
- [11] Amiranashvili A., Kereselidze Z., Mitin M., Khvedelidze I., Chikhladze V. Alarming factors of the Microclimate of the Vere River Valley and their Influence on the Floods Intensity. // Trans. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, v. 69, Tbilisi, 2018, pp. 204-218, (in Georgian).
- [12] Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Abnormal Precipitation Before the Landslide in Akhaldaba (A Suburb of Tbilisi, Georgia) on June 13, 2015 According to Radar Measurements. // Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 26(1), 2023, pp. 30–41. <https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/6959>; DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2620236959>
- [13] Amiranashvili A., Brocca L., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Varamashvili N. Analysis of the Precipitation Regime that Triggered the Landslide in Nergeeti (Imereti, Georgia) on February 7, 2024. // International Scientific Conference “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country”, Proceedings, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024.
- [14] Beglarashvili N., Jamrishvili N., Janelidze I., Pipia M., Tavidashvili Kh. Analysis of Strong Precipitation in Tbilisi on August 29, 2023. // International Scientific Conference "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes", Proceedings, Tbilisi, Georgia, November 16-17, 2023, pp. 154-158.

## METEOROLOGICAL CONDITIONS FOR THE TORNADO FORMATION IN KAKHETI (GEORGIA) ON JUNE 25, 2024

\*Amiranashvili A., \*Chikhladze V., \*\*Kekenadze E., \*,\*\*\*Pipia M.,  
\*\*,\*\*\*Samkharadze I., \*\*Telia Sh., \*Varamashvili N.

\*M. Nodia Institute of Geophysics of the I. Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia  
avtandilamiranashvili@gmail.com

\*\*State Military Scientific-Technical Center “DELTA”, Tbilisi, Georgia

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

**Abstract.** The article presents results of studies of the level of atmospheric stability and characteristics of the thunderstorm-hail process that contributed to the formation of a tornado in Kakheti on June 25, 2024.

**Key Words:** natural disasters, hurricane winds, tornadoes, radar monitoring.

### Introduction

The assessment of extreme wind values is especially important from the point of view that such phenomena, as a result of their destructive effects, can cause significant damage to the agro-economic and other infrastructure of the country [1-10]. In particular, article [8] presents information about the tornado in Kobuleti, and also discusses the issue of a more detailed study of these events in Georgia.

In the study [8], as a special case, considered a tornado that took place on September 25, 2021 in the terminal space of the city of Poti, which caused significant damage to one of the cargo terminals.

Some results of an expeditionary study of the tornado distribution area in Kakheti on June 25, 2024 are presented in [10]. The team of researchers visiting the Alaverdi Cathedral, had a meeting with His Eminence, Bishop of Alaverdi, Metropolitan David. The damage to the Alaverdi Cathedral and its surroundings was discussed in detail. Important information has been received regarding this issue. Further research was continued in the area surrounding the Alaverdi Cathedral and in the direction of the villages of Kvemo and Zemo Alvani. The probable place of origin of the tornado and the trajectory and area of its spread were determined. The damage caused by the tornado on the propagation trajectory was studied. This work is a continuation of the study [10]. Results of studies of the level of atmospheric stability and characteristics of the thunderstorm-hail process that contributed to the formation of a tornado in Kakheti on June 25, 2024 are presented below.

### Study area, material and methods

Study area – Akhmeta municipality of Kakheti region of Georgia (Alaverdi Cathedral and surrounding areas, the villages of Kvemo Alvani and Zemo Alvani).

Data on vertical atmospheric sounding [<https://www.ready.noaa.gov/index.php>] for calculated of Indexes of Stability of the Atmosphere [[http://weather.uky.edu/about\\_totl.htm](http://weather.uky.edu/about_totl.htm)].

In this work Total Totals Index (TT) Index stability of the atmosphere is used.

$$TT = T_{850} + T_{d850} - 2 \cdot T_{500} \text{ in degrees C.}$$

where  $T$  represents temperature and  $T_d$  represents dew point temperature at the indicated level (500, 700, and 850 mb).



Data of meteorological radar “METEOR 735 CDP 10 – Doppler Weather Radar” of Anti-hail service of Georgia about the parameters of radar reflectivity of clouds – product MAX (dBZ), max diameter of hailstones D (mm) – product HAILSZ (Size) and the and characteristics of atmospheric phenomena – product ASWLL (ET) – are used [11].

## Results

Results in Table and Fig. 1 – 5 are presented.

**Table. TT Index for study region 25.06.2024.**

Hour.min	TT Index	Stability of the Atmosphere
10.00	51	Scattered Numerous Thunderstorms. Few Scattered Severe. Isolated Tornadoes
13.00	53	Numerous Thunderstorms. Scattered Tornadoes.
16.00	53	Numerous Thunderstorms. Scattered Tornadoes.
19.00	53	Numerous Thunderstorms. Scattered Tornadoes.
22.00	50	Scattered Thunderstorms. Few Severe. Isolated Tornadoes.

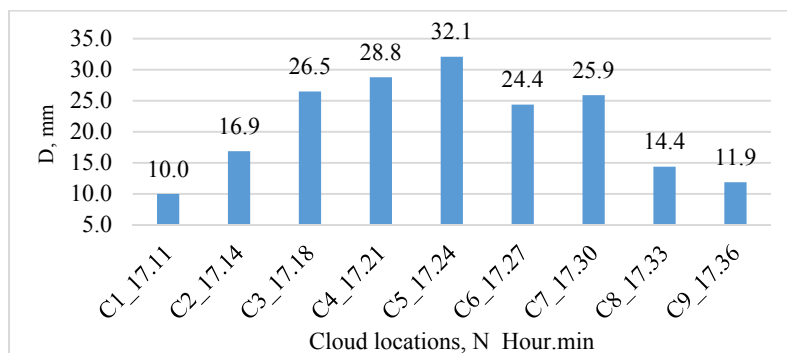
As follows from Table 1, from 10.00 to 22.00, an unstable atmosphere was generally observed over study area. The TT index value varied from 50 (22.00, Scattered Thunderstorms. Few Severe. Isolated Tornadoes.) to 53 (13.00-19.00, Numerous Thunderstorms. Scattered Tornadoes.). That is, throughout the day there were conditions for the formation of intense convective processes and tornadoes.



**Fig. 1. Trajectory and speed of movement of the thunderstorm-hail process over the study area.**

Points C1÷C9 – location of the cloud zone with the maximum diameter of hailstones.

Point 0 – center dome of the Alaverdi Cathedral, point 13 – approximate location of tornado formation, all other points – locations of the tornado distribution area in Kakheti [10].



**Fig. 2. Max diameter of hailstones in different time.**



As follows from Fig. 1 and 2, the thunderstorm-hail process moved over the territories of Zemo Alvani, Kvemo Alvani and Alaverdi from 17.11 to 17.36. The speed of this process varied from 9 km/h to 30 km/h. At the same time, according to the radiosonde data at 16.00, the direction of the leading flow was 273°, the speed was 46.8 km in the altitude range of 5.06-6.61 km, the maximum diameter of hailstones varied from 10.0 to 32.1 mm.

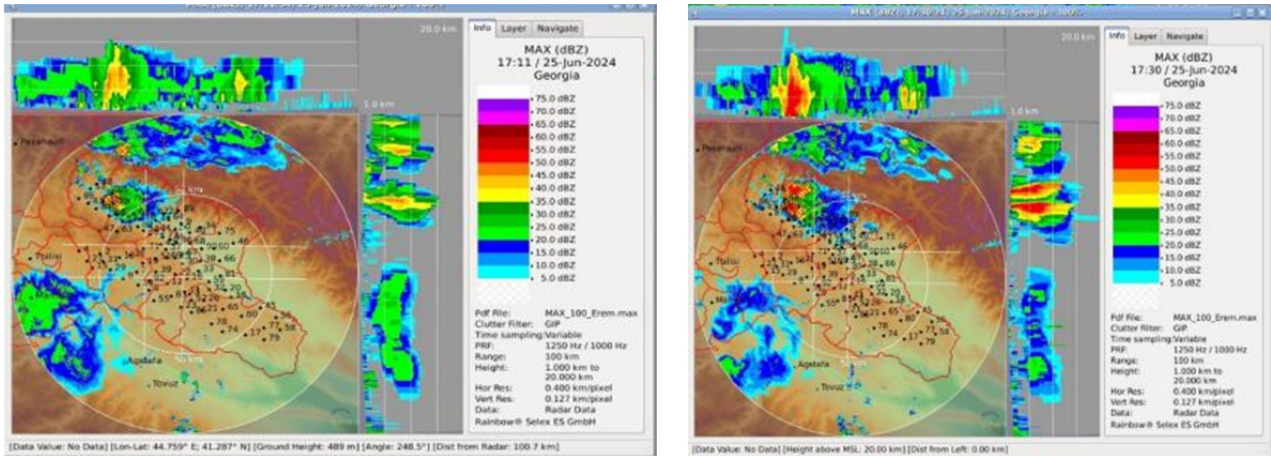


Fig. 3. Examples of distribution of radar reflectivity of clouds over the study area at 17.11 and 17.30.

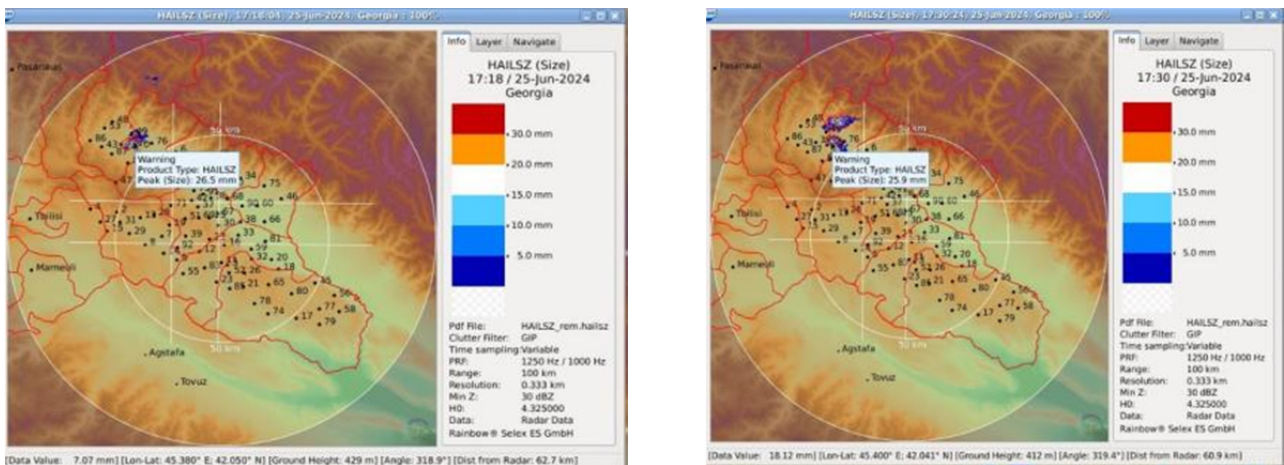


Fig. 4. Examples of distribution of maximum hailstone size over the study area at 17:18 and 17:30.

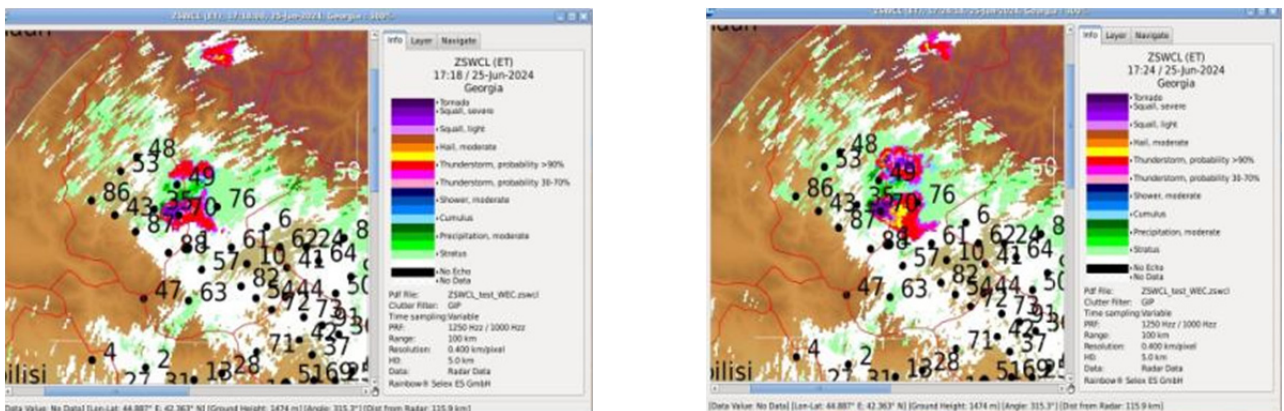


Fig. 5. Examples of distribution of characteristics of atmospheric phenomena over the study area at 17:18 and 17:24.

In Fig. 3-5 are presented some examples data of the radar about the parameters of radar reflectivity of clouds, max diameter of hailstones and the characteristics of atmospheric phenomena, respectively. In these Figures, by numbers are indicated the anti-hail missile points for influencing on clouds. Note that the supposed location of the tornado (point N 13 in Fig. 1) is located near missile point N 35, and the Alaverdi Cathedral (point N 0 in Fig. 1) is not far from missile point N 70.

As the analysis of the radar data showed, from 17.11 to 17.36 the thunderstorm-hail cloud, which was actively attacked by anti-hail missiles to prevent hail, was a two-cell system with max radio echo heights of up to 15 km. The lower cell was more active. The tornado, fueled by it, apparently arose at 17.11-17.14, and reached the territory of the Alaverdi Cathedral at approximately 17.30, having traveled about 5.7 km [10] at an average speed of 18-21 km/h. This corresponds to the average speed of the cloud during the same period of time (Fig. 1). It should also be noted that strong gusts of wind were observed inside the cloud (Fig. 5, designation “Squall severe”), which contributed to the formation of a tornado and its existence for at least 22-25 min.

## Conclusion

In the near future, we plan estimation of the speed of air flows inside a tornado, clarify the strength of the tornado, etc.

## References

- [1] Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia Sh., Arevadze N., Gventcadze A. Vulnerability, Hazards and Multiple Risk Assessment for Georgia. *Natural Hazards*, Vol. 64, Number 3, 2012, pp. 2021-2056. DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, <http://www.springerlink.com/content/9311p18582143662/fulltext.pdf>.
- [2] Beglarashvili N., Chikhladze V., Janelidze I., Pipia M., Tsintsadze T. Strong Wind on the Territory of Georgia in 2014-2018. *Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“*, Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021, pp. 19-22.
- [3] Amiranashvili A., Jamrshvili N., Janelidze I., Pipia M., Tavidashvili Kh. Statistical Analysis of the Daily Wind Speed in Tbilisi in 1971-2016. *Int. Conf. of Young Scientists “Modern Problems of Earth Sciences”*. Proceedings, ISBN 978-9941-36-044-2, Publish House of Iv. Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, November 21-22, 2022, pp. 159-163. <http://openlibrary.ge/handle/123456789/10250>
- [4] Beglarashvili N., Pipia M., Jamrshvili N., Janelidze I. Some Results of the Analysis of Number of Days with Strong Wind in Various Regions of Georgia in 2019-2022. *Georgian Geographical Journal*, E-ISSN: 2667-9701, Vol.3 (2), 2023, 5 p. DOI: <https://doi.org/10.52340/ggj.2023.03.02.05>
- [5] Varazanashvili O., Gaprindashvili G., Elizbarashvili E., Basilashvili, Ts., Amiranashvili A., Fuchs S. The First Natural Hazard Event Database for the Republic of Georgia (GeNHs). *Catalog*, 2023, 270 p. <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10369>; DOI: 10.13140/RG.2.2.12474.57286
- [6] Elizbarashvili E.Sh., Varazanashvili O.Sh., Amiranashvili A.G., Fuchs F., Basilashvili Ts.Z. Statistical Characteristics of Hurricane Winds over Georgia for the Period 1961–2022. *European Geographical Studies*, E-ISSN: 2413-7197, 10(1), 2023, pp. 8-18, DOI: 10.13187/egs.2023.1.8, <https://egs.cherkasgu.press>
- [7] Elizbarashvili E., Varazanashvili O., Lagidze L., Pipia M., Chikhladze V. About Strong Winds in Kakheti Region. *Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes"*. Proceedings, ISBN 978-9941-36-147-0, Publish House of Iv. Javakishvili Tbilisi State University, November 16-17, 2023, pp. 156-160, (in Georgian). <http://www.openlibrary.ge/handle/123456789/10424>
- [8] Chikhladze V., Jamrshvili N., Tavidashvili Kh. Tornadoes in Georgia. *Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“*, Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021, pp. 23-26.
- [9] Chikhladze V., Amiranashvili A., Gelovani G., Tavidashvili Kh., Laghidze L., Jamrshvili N. Assessment of the Destructive Power of a Tornado on the Territory of the Poti Terminal on September 25, 2021. *II International Scientific Conference “Landscape Dimensions of Sustainable Development Science – Carto/GIS – Planning – Governance”*, Dedicated to the 75th Anniversary of Professor Nikoloz (Niko) Beruchashvili, Proceedings, 12-16 September 2022, Tbilisi, Georgia, Ivane Javakishvili Tbilisi State University Press, 2022, ISBN 978-9941-36-030-5, pp. 275-281, (in Georgian). <http://www.dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10120>
- [10] Amiranashvili A., Chikhladze V., Pipia M., Varamashvili N. Some Results of an Expeditionary Study of the Tornado Distribution Area in Kakheti on June 25, 2024. // *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 27(1), 2024, pp. 67 – 76
- [11] Selex ES GmbH · Gematronik Weather Radar Systems. // *Rainbow@5 User Guide*, 2015, 464 p., [www.gematronik.com](http://www.gematronik.com)

## EXPERIMENTAL MODELING OF ATMOSPHERIC PROCESSES IN THE LARGE CLOUD CHAMBER OF THE M. NODIA INSTITUTE OF GEOPHYSICS, TSU. PAST, PRESENT, DEVELOPMENT PROSPECTS

Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V.

*M. Nodia Institute of Geophysics of the I. Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia  
avtandilamiranashvili@gmail.com*

**Abstract.** *The paper presents a brief overview of studies on modeling atmospheric processes in a large cloud chamber of the M. Nodia Institute of Geophysics of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University. Prospective plans for further development of these studies are presented.*

**Key Words:** *large chamber, experimental modeling, atmospheric processes.*

The ability to predict the evolution of the atmosphere over a wide range of time scales (from hours to decades), as well as active influences on atmospheric processes (hail control, precipitation induction, fog dispersion, forest fire suppression, etc.) bring enormous benefits to society. Atmospheric simulation chambers are among the most advanced tools for studying and quantifying atmospheric processes and are used to determine many parameters included in air quality and climate models, weather modification methodology, etc. In particular, more than 80 chambers with a volume of 0.1 to 270 m<sup>3</sup> are currently used in developed countries to simulate various processes occurring in the atmosphere and cloud environment. At the same time, a significant part of these chambers operate only in warm mode [1,2].

In the mid-seventies of the last century, a unique experimental complex for modeling various physical processes occurring both in a cloudless atmosphere and in clouds was created at the Institute of Geophysics of the Georgian Academy of Sciences. The project for this complex was developed by the Georgian State Institute of Urban Design [3].

In essence, the thermal pressure chamber is a unique giant device built into a laboratory building – a unique architectural monument (Fig. 1).

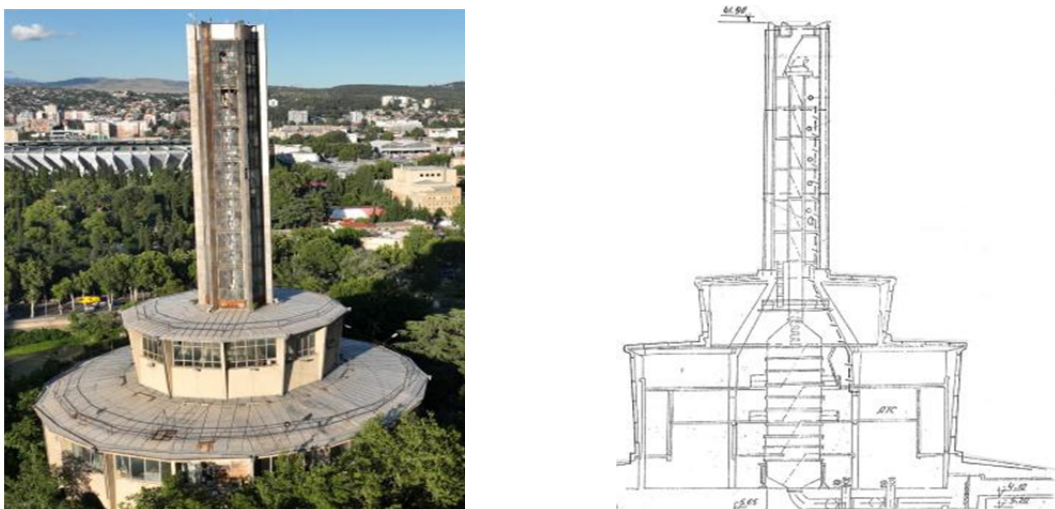
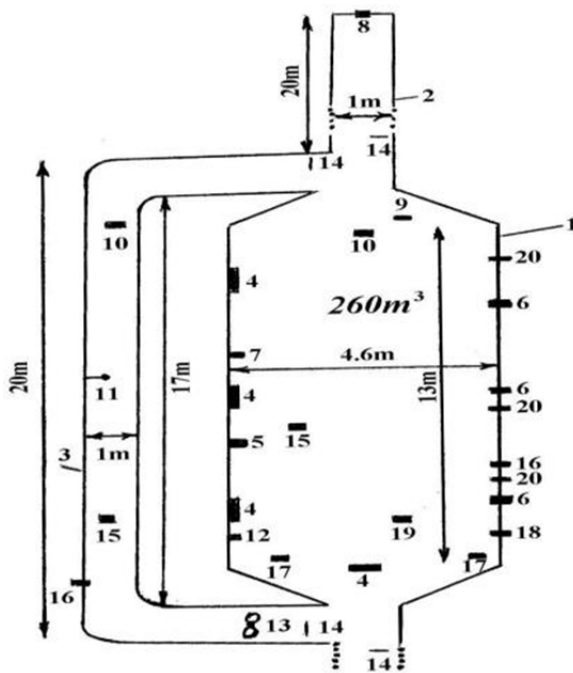


Fig. 1. Large cloud chamber. On the left – general view, on the right – diagram of the layout inside the building.





**Fig. 2. Large cloud chamber. On the left – diagram of the arrangement of equipment and devices, on the right – example of the arrangement of a source of ultraviolet radiation for ozone generating.**

The large cloud chamber (thermo-baric chamber, fog chamber, aerosol chamber, etc.) represents a vertical cylinder with conical bases. The volume of the chamber amounts to  $260\text{ m}^3$ , total height – 17 m, the height of the cylindrical part – 13 m, diameter – 4.6 m, diameters of two entry hatches – 0.8 m each. In the upper part of the chamber there is a central pipe (2) 20 m high and 1m in diameter. On the side of the chamber a vertical aerodynamic pipe (3) is connected to its upper and lower parts, which has the size of the central pipe (2). The velocity of a vertical air flow in this pipe may reach 10 m/sec. Experiments were carried out at temperatures from  $-20^{\circ}\text{C}$  to  $+20^{\circ}\text{C}$  inside the chamber. Currently the chamber is functioning in the warm mode. The chamber is equipped with various devices for laboratory experiments. In various parts of the chamber electric field measurers (4), transparency registrators (5), aerosol samplers (6), fog aqueosity measurers (7), hydrometeor (8) and large disperse aerosol (9) dropping devices with a current measurers, water dispergators (10), hydrometeor holding device with a current measurer (11), fog introducing device (12), ventilator (13), gates (14), small disperse aerosol, ozone generators (15), aerosol concentration and size spectrum measurers (16), sedimenting particle charge measuring plate (17), aerosol charge and mass measurers (18), air ionizer with a high voltage supply (19), air temperature, humidity, ozone concentration and another measurers (20), etc. are installed (Fig. 2).

In particular, the following important results were obtained based on laboratory experiments [4-19]: the consumption rates of ice-forming reagents required for further improvement of the methods for influencing hail processes were clarified; the aerodynamic characteristics of falling hailstones were clarified, which made it possible to obtain initial data for theoretical calculations of the growth and melting process of hailstones of various shapes, densities and sizes; the role of electric fields and discharges was experimentally revealed both during hailstone growth and in the heterogeneous mechanism of formation and growth of the ice phase on particles of crystallizing reagents; the laws of laser radiation propagation were studied under various conditions characteristic of the earth's atmosphere; the processes of cloud environment electrification during the interaction of droplets with coarse aerosols and ice-forming substances were studied; the properties of various reagents for regulating thunderstorm activity of clouds were studied; the processes of aircraft elements electrification in a simulated cloud environment were studied; tests of disk generators of monodisperse droplets were conducted; the processes of washing out aerosols by artificial raindrops were studied; work has begun on developing methods for creating smog ozone and actively influencing it in order to reduce ozone concentrations

It should be noted that in the eighties of the last century, the thermal pressure chamber had the status of an international laboratory within the framework of the CAPG (Commission for Multilateral Cooperation of the Academies of Sciences of Socialist Countries on the Complex Problem of "Planetary Geophysical Research").

In the future, the following studies are planned:

- Modeling of soil erosion processes;
- Modeling of slanting rains on buildings and structures [the work has begun, 20];
- Development of new and improvement of existing methods for creating various aerodisperse systems (neutral and charged fogs, aerosol formations, etc.);
- Modeling of the processes of formation and evolution of photochemical smog;
- Modeling of the processes of the impact of ionizing radiation (radioactive, cosmic, electromagnetic) on the transformation of microphysical and electrical characteristics of clouds;
- Modeling the influence of a complex of various meteorological and geophysical parameters (electromagnetic fields and radiation, ozone, meteorological elements, etc.) on living organisms and plants;
- Development of new and improvement of existing methods of influencing harmful characteristics of the atmosphere (dispersion of warm fogs; purification of air from aerosol and gas impurities; protection of living organisms and plants from high concentrations of ozone and levels of electromagnetic fields and radiation, including ultraviolet, etc.);
- Improvement of precipitation control methods.

The issue of restoring the previous functions of the pressure chamber for modeling atmospheric processes at negative temperatures using appropriate modern cooling equipment is being considered.

It is also planned to train specialists in the field of experimental atmospheric physics, as well as to improve the qualifications of interested persons in this field of science.

It is also planned to use the resources of this facility to conduct various educational and cognitive activities.

Considering the importance of the above studies, under appropriate conditions of state support, the possibility of participating in international projects and obtaining the status of an international laboratory is not excluded.

## References

- [1] Doussin J-F., Fuchs H., Kiendler-Scharr A., Seakins P., Wenger J. (Editors). A Practical Guide to Atmospheric Simulation Chambers. // Springer, 2023, 345 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-22277-1>
- [2] Li Ruijie, Huang Mengyu, Ding Deping, et al. Warm cloud size distribution experiment based on 70 m<sup>3</sup> expansion cloud chamber. // J Appl Meteor Sci, 2023, 34(5): 540-551. DOI: 10.11898/1001-7313.20230503.
- [3] Карцивадзе А.И., Лапинскас В.А., Лукин Ю.М., Окуджава А.М., Савостин П.С., Унгиадзе Н.М., Центерадзе М.В., Шавердов Г.Ш. // Лабораторный комплекс для моделирования физических процессов образования облаков и осадков, Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 40, "Мецниереба", 1977, 5-12.
- [4] Карцивадзе А.И., Окуджава А.М., Чихладзе В.А. Установка для исследования роста и таяния градин и некоторые предварительные результаты опытов, проведенных в ней. // Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 40, "Мецниереба", 1977, 13-21.
- [5] Блиадзе Т.Г., Карцивадзе А.И., Окуджава А.М., Салуквадзе Т.Г. К вопросу об исследовании аэродинамических характеристик свободно падающих градин. // Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 44, Тбилиси, «Мецниереба», 1978, с. 112-118.
- [6] Гзиришвили Т.Г., Амиранашвили А.Г., Чиabriшвили Н.Г., Нодия А.Г., Мирцхулава М.Д., Чхаидзе Г.П., Степаненко В.Д., Имянитов И.М. Электризация взаимодействующих дисперсных аэрозольных частиц. // Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т.52, "Мецниереба", 1984, 12-34.
- [7] Гзиришвили Т.Г., Амиранашвили А.Г., Чиabriшвили Н.Г., Нодия А.Г., Мирцхулава М.Д. Лабораторные опыты по исследованию процесса заряжения капли во время ее падения в облачной среде // Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т.52, "Мецниереба", 1984, 40-45.

- [8] Diakonova N.N., Imianitov I.M., Kartsivadze A.I. et al. Laboratory Modelling of the Processes of the Contact Electrification of Cloud Particles Leningrad, "Gidrometeoizdat", 1985, 88 p. (in Russian).
- [9] Gzirishvili T.G., Amiranashvili A.G., Mirtskulava M.D., Nekhotina L.M., Nodia A.G., Trofimenko L.T. Experimental modelling of aerosol particle and hydrometeor electrization processes. // Proc. 8<sup>th</sup> Int. Conf. on atmospheric electricity, Uppsala, Sweden, 13-16 june, 1988, 270-275.
- [10] Gzirishvili T.G., Kirkitadze D.D., Odisharia M.A., Trofimenko L.T. Some Results of the Interaction of Aerosols and Ozone in Various Conditions. // J. Aerosol Sci., Vol. 20, No 8, Pergamon Press, 1989, 1171-1172.
- [11] Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G. Aerosols and Ice Crystals in the Atmosphere. // Tbilisi, "Metsniereba", 1991, 112 p. (in Russian).
- [12] Amiranashvili A.G., Bliadze T.G., Chiabrishvili N.G., Gzirishvili T.G., Kirkitadze D.D., Nodia A.G., Odisharia M.A., Okujava A.M. Laboratory Modelling of the Transformation of Microphysical and Electrical Properties of Artificial Water Fogs. // Proc., 1<sup>st</sup> Int. Conf. on Fog and Fog Collection, Vancouver, Canada, July 19-24, 1998, pp. 333-335.
- [13] Amiranashvili A., Bliadze T., Chiabrishvili N., Chikhladze V., Gzirishvili T., Kirkitadze D., Nodia A., Odisharia M., Okujava A. // Complex for laboratory modelling of microphysical and electrical properties of aerodisperse formations, Proc.Int.Conf. Dedicated to Memory of Prof.A.Sutugin, Moscow, Russia, June 26-30, , 2000, 54-55.
- [14] Блиадзе Т.Г. Скорость роста градин при различной водности и температуре искусственной облачной среды. // Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, том 60, Тбилиси, 2008, с. 219–222.
- [15] Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V. Photochemical smog in Tbilisi. // Monograph, Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. 63, Tbilisi, 2012, 160 p., (in Georgian).
- [16] Блиадзе Т.Г. Связь скорости роста размеров и массы градин с температурой и водностью моделируемой облачной среды. // Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, том 64, Тбилиси, 2013, с. 178-185.
- [17] Блиадзе Т.Г. Исследование интегрального коэффициента захвата облачных частиц градинами при различных условиях их роста. // Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, том 64, Тбилиси, 2013, с. 186-195.
- [18] Амиранашвили А.Г., Блиадзе Т.Г., Чихладзе В.А. Лабораторное моделирование приземного озона высокой концентрации. // Международная конференция "Актуальные проблемы геофизики". Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 151-156.
- [19] Gvelesiani A., Orjonikidze A., Khurodze T. Experimental Simulation of the Processes of Growth and Thawwing of Hail Stones, Freezing of Drops, Heterogeneous Nucleation of Ice. // Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, vol. LXVI, 2016, pp. 186-190 (in Russian).
- [20] Chikhladze V., Kartvelishvili L. – Testing the "Slanting Rain" Recorder in a Thermobaric Chamber // International Scientific Conference "Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country", Proceedings, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, (in Georgian).

## ირიბი წვიმის მარეგისტრირებადი ხელსაწყოს გამოცდა თერმობაროკამერაში

\*ჩიხლაძე ვ., \*\*, \*\*\*ქართველიშვილი ლ.

\*მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო

\*\*გარემოს ეროვნული სააგენტო, თბილისი, საქართველო

\*\*\*ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, სტუ, თბილისი,

vicachikh@gmail.com

**ანოტაცია:** მოცემულია ინფორმაცია ე.წ. ირიბი წვიმების შესახებ, განმარტებულია მისი მნიშვნელობა მშენებლობასა და არქიტექტურაში და აგრეთვე წარმოდგენილია თსუ-ს გეოფიზიკის ინსტიტუტის თერმობაროკამერაზე ჩატარებული ირიბი წვიმების მარეგისტრირებადი დანადგარის მაკეტის გამოცდების-თვის შექმნილი სტენდი.

**საკვანძო სიტყვები:** თერმობაროკამერა, სანვიმარი მოწყობილობა, ირიბი წვიმა, მყარი ნალექები, ქარი სიმაღლეზე, მშენებლობა

ცნება „ირიბი წვიმები“, ძირითადად გულისხმობს არავერტიკალურ წვიმას, რომლის მიმართულებას და დახრილობის კუთხეს თანმხლები ქარის ძალა განაპირობებს. მისი შესწავლის საკითხი გახდა აქტუალური წინა საუკუნის შუა ხანებში და იყო მსხვილპანელიან მშენებლობასთან დაკავშირებული. საქართველოში ამ თემასთან ძირითადად თბილისის მშენებლობის ზონალური ინსტიტუტის თანამშრომლები იყვნენ დაკავშირებულნი [1].

ირიბი წვიმებით გამოწვეული წყლის შეღწევა შენობების ფასადებსა და ცალკეულ ელემენტებს შორის არსებულ შეერთების ადგილებში იწვევს ნეგატიურ მოვლენებს, რომელთა შორის აღსანიშნავია ზედაპირის მასალის დეგრადაცია, მათი დაზიანება ყინვისგან, მარილების გამო მათი გაუფერადობა, სტრუქტურული დახეტილობა (დასკდომა), შიდა დაზიანებები და ა.შ. დატვირთვები შენობის ფასადებზე ირიბი წვიმების გავლენის გამო ნალექების პროპორციულია და წარმოადგენს ტენის ძირითად წყაროს შენობაში და აგრეთვე ეროზიულ ფიზიკურ დატვირთვას ფასადებზე.

კლიმატურმა ცვლილებებმა შეიძლება გამოიწვიონ ექსტრემალური ნალექების ინტენსივობა და სიხშირე, რამაც შეიძლება გააძლიეროს ეროზიული ეფექტები შენობების ფასადებზე ირიბი წვიმების ზემოქმედების გამო.

დრო გადის და შედეგად იცვლება ბევრი რამ, მათ შორის მშენებარე სახლების კონსტრუქცია და შესაბამისად, მშენებლობის ტექნოლოგია. ამასთან ერთად მკვეთრად იზრდება მშენებარე სახლების სართულიანობა და სიმაღლე. ცოტა ხნის წინ გაჟღერებული ინფორმაციის თანახმად, თბილისში დაგეგმილია რამდენიმე 75 სართულიანი შენობის მშენებლობა. არ შევიჭრებით დეტალებში, მაგრამ ამ 225 მეტრიან შენობების მოვლა-პატრონობა ბევრად იქნება დამოკიდებული იმაზე, თუ როგორ იქნება გადწყვეტილი გერმეტიზაციის საკითხები გარე კედლების ამოყვანისას, მითუმეტეს, რომ ნაკლებად არის შესწავლილი ქარი, ნალექები და მათი ჯამური გავლენა ამ სიმაღლეებზე და მითუმეტეს, მათი ურთიერთობა შენობასთან ან შენობების კომპლექსთან. ამიტომ ჩვენ გადავწყვიტეთ გადავხედოთ ადრე ჩატარებულ სამუშაოებს და ახლებურად გადავხედოთ მათ.

პირველ რიგში საჭიროა ახალ თანამედროვე ბაზაზე შეიქმნას 5 ან 9 მიმღებიანი, რაც შეიძლება მცირე გაბარიტების და წონის მქონე ვერტიკალური და ირიბი წვიმების რეგისტრატორი.

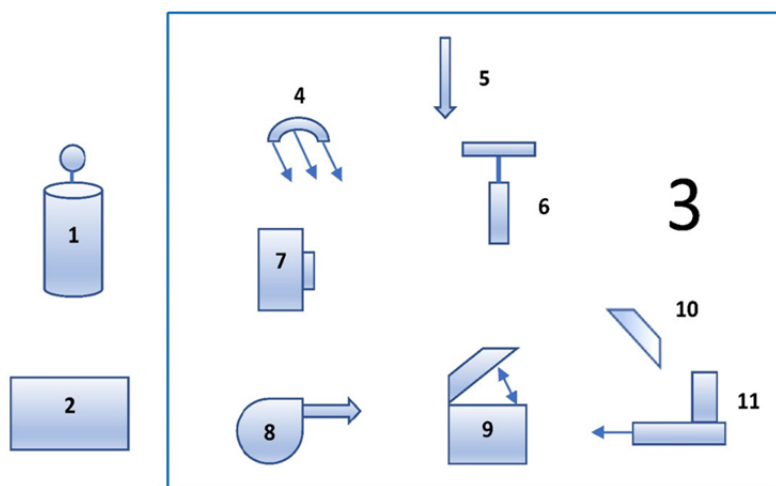


სტანდარტულ მეტეოსადგურებზე ძირითადად გამოიყენება ორი ტიპის ნალექების მიმღები – პლუვიოგრაფი Π-2M მიმღები ფანჯრით  $500 \pm 2$  სმ<sup>2</sup> ფანჯრის დიამეტრით 25,2 სმ და OBB ტიპის ნალექმზომი, რომლის მიმღები ფანჯრის დიამეტრი 15,96 სმ, ხოლო ფართობი დაახლოებით 200 სმ<sup>2</sup> შეადგენს [2, 3]. რაც შეეხება Pluvio<sup>2</sup> L-400 RH ტიპის ავტომატურ მეტეოსადგურებს, რომლებიც ბოლო დროს სულ უფრო აქტიურად ინერგება საქართველოში, მათი მიმღები ფანჯრების ფართობი ორი ტიპისაა – 200 და 400 სმ<sup>2</sup> [https://www.otthydromet.com/en/p-ott-pluvio-l-400-rh-weighing-rain-gauge-400-cm750-mm-heated-rim/70.040. 021.9.0]. რასაკვირველია, რაც უფრო დიდია მიმღები ფანჯრის დიამეტრი, მით უფრო მეტი იქნება ხელსაწყოს სიზუსტე, მაგრამ აქ მხედველობაში მისაღებია ის გარემოება, თუ სად განლაგდება ეს ხელსაწყო, რა წონა და რა აეროდინამიური წინააღობა ექნება მას.

ჩვენი მომავალი ირიბი წვიმების რეგისტრატორის კონცეფცია ჯერ ბოლომდე არ რის დადგენილი. ჩვენ ვფიქრობთ, რომ შევქმნათ მიმღები ფანჯრების რამოდენიმე მოდელი, რომლებიც ფანჯრის ზომის, ფორმით, შემკრები ავზით და ასევე გეომეტრიული ზომით და მასალით იქნება განსხვავებული. შემდეგ დაგეგმილია ამ მაკეტების თერმობაროკამერაში გამოცდა და მხოლოდ ამის შემდგომ სრულ კონსტრუქციაზე გადასვლა.

ლაბორატორულ პირობებში ირიბი წვიმების ზემოქმედების ეფექტის იმიტაცია საშუალებას იძლევა ჩატარდეს კონტროლირებადი ექსპერიმენტები სპეციალურ სტენდზე. გამოცდების ჩატარების ძირითადი აზრი იმაში მდგომარეობს, რომ მიმართული ჰაერის ნაკადის ზემოქმედებით გარკვეული სიჩქარის და დარტყმის კუთხის მქონე სხვადასხვა დიამეტრის წყლის წვეთების რა რაოდენობა ხდება ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ მიმღებ ფანჯრებში.

ბაროკამერაში გამოცდებისთვის მოწყობილია რეგულირებადი მყარი და თხევადი ნალექების წყაროები, განათების და უსაფრთხოების სისტემები. ცვლადი მიმართულების და ძალის ქარის შესაქმნელად დამონტაჟებულია გადასატანი ვენტილატორი [4, 5, 6, 7].



**ნახ. 1.** ექსპერიმენტალური დანადგარის ბლოკ-სქემა, სადაც: 1 – წყლის ავზი; 2 – ჰაერის კომპრესორი (ორივე კამერის გარეთ); 3 – კამერის შიდა მოცულობა; 4 – სანვიმარი დანადგარი; 5 – სეტყვის მარცვლების ჩამოსაგდეები; 6 – მონოდისპერსული წვეთების გენერატორი; 7 – რეგისტრატორი; 8 – ვენტილატორი; 9 – პლატფორმა დამაგრებული ნიმუშით; 10 – განათება; 11 – სატყორცნი მოწყობილება.

თხევადი ნალექების მონოდება ხდება წვეთების ზომების და ინტენსივობის სხვადასხვა სპექტრში. მონოდისპერსული წვეთების მიღება ხდება ი. შატბერამვილის კონსტრუქციის მონოდისპერსული წვეთების გენერატორის მეშვეობით, წვეთების ზომა და რაოდენობა რეგულირდება ძრავის ბრუნვის სიჩქარის და მიწოდებული სითხის რაოდენობით. რაც შეეხება ფართოსპექტრიან, ბუნებრივი წვიმის მაგვარ ხელოვნურ წვიმას, კამერაში მისი იმიტაცია ხდება სხვადასხვა რაოდენობის და ზომის ნახვრეტებიან გამაფრქვევლებით (საქენებით), ხოლო სითხე სპეციალურ ავზიდან მათთან მიეწოდება გარკვეული წნევით, რომელსაც ჰაერის კომპრესორი ქმნის [8]. წვიმის წვეთების ვარდნის სიჩქარე რეგულირდება ძირითადად წყლის ხარჯით და წნევით და კონტროლირდება ვიდეოკონტროლით. წვეთების სპექტრის დადგენა შესაძლებელია როგორც წინასწარ, ასევე ექსპერიმენტის ჩატარების დროსაც სტანდარტული მეთოდიკის დაცვით. ექსპერიმენტში წვიმის წვეთების ზომა ძირითადად 2-4 მმ-ს დიამეტრისაა. ექსპერიმენტის ბლოკ-სქემა წარმოდგენილია ნახ. 1-ზე.

სანვიმარი მონყობილობის გარდა, რომელიც თავისთავად ცალკეულ დასრულებულ კონსტრუქციას წარმოადგენს, და საჭიროების შემთხვევაში სხვა ანალოგიურ, ან უფრო ფართე ექსპერიმენტის დროსაც შეიძლება იყოს გამოყენებული, მაგალითად წყლის ეროზიის, ჰაერიდან მინარევების გამორეცხვის ან სხვა ამგვარი პროცესების შესასწავლად.

რაც შეეხება მყარ ნაღებებს, ზემოქმედება შეიძლება ხდებოდეს ნაწილაკების როგორც დამყარებული სიჩქარით თავისუფალი ვარდნის დროს თერმობაროკამერის ზედა კონუსის თავზე მოთავსებულ ვერტიკალურ მილიდან [9, 10], ასევე სპეციალური სატყორცნიდან. ეს უკანასკნელი წარმოადგენს გადასატან მონყობილობას, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია სხვადასვა ზომის და წონის ყინულის ან სხვა მასალისგან დამზადებული ნებისმიერი ფორმის საგნების გატყორცნა სხვადასხვა ძალით და სიჩქარით გარკვეული მიმართულებით. გამოყენებული ხორხოშელას ზომები დაახლოებით 3-5 მმ-ს დიამეტრისაა, ხოლო სეტყვის მარცვლების – 15-20 მმ.

გამოსაცდელი მაკეტი მაგრდება გადასატანი პლატფორმის მოძრავ მაგიდაზე, რომელსაც შეუძლია შემობრუნება ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ სიბრტყეებში გარკვეული კუთხით მომდევნო ფიქსაციით. წვეთების და ნაწილაკების ქცევის დასაფიქსირებლად გამოყენებულია ციფრული კამერა.

## ლიტერატურა

- [1] Kartvelishvili L. G. Kharakteristika raspredeleniya kosykh dozhdey v usloviyakh Gruzinskoy SSR. // Dissertatsiya uchenoy stepeni kandidata geograficheskikh nauk (11.00.09), Tbilisi, 1982 g.
- [2] Sternzat M.S. Meteorologicheskiye pribory i izmereniya. // Leningrad. Hidrometeoizdat. 1978 g.
- [3] Reifer A. B. Directory of hidrometeorological instruments. // Leningrad. Hidrometeoizdat. 1976.
- [4] Карцивадзе А.И., Лапинская В.А., Лукин Ю.М., Окуджава А.М., Савостин П.С., Унгиадзе Н.М., Центерадзе М.В., Шавердов Г.Ш. // Лабораторный комплекс для моделирования физических процессов образования облаков и осадков, Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 40, “Мецниереба”, 1977, 5-12.
- [5] Карцивадзе А.И., Окуджава А.М., Чихладзе В.А. Установка для исследования роста и таяния градин и некоторые предварительные результаты опытов, проведенных в ней. // Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 40, “Мецниереба”, 1977, 13-21.
- [6] Amiranashvili A., Bliadze T., Chiabrishvili N., Chikhladze V., Gzirishvili T., Kirkitadze D., Nodia A., Odisharia M., Okujava A. // Complex for laboratory modelling of microphysical and electrical properties of aerodisperse formations, Proc.Int.Conf. Dedicated to Memory of Prof.A.Sutugin, Moscow, Russia, June 26-30, , 2000, 54-55
- [7] Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V. Photochemical smog in Tbilisi. // Monograph, Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. 63, Tbilisi, 2012, 160 p., (in Georgian).
- [8] Амиранашвили А.Г., Блиадзе Т.Г., Чихладзе В.А. Лабораторное моделирование приземного озона высокой концентрации. // Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 151-156.
- [9] Блиадзе Т.Г. Физические характеристики градин при различных режимах их роста. // Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, том. 60, Тбилиси, 2008, с. 223–229.
- [10] Блиадзе Т.Г. Связь скорости роста размеров и массы градин с температурой и влажностью моделируемой облачной среды. // Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, том 64, Тбилиси, 2013, с. 178-185.

## TESTING THE “SLANTING RAIN” RECORDER IN A THERMOBARIC CHAMBER

Chikhladze V., Kartvelishvili L.

**Abstract:** Information is given on the so-called about indirect rains, its importance in construction and architecture is explained, and also the stand created for tests of the mock-up of the indirect rains recording device conducted at the thermobarocamera of the Institute of Geophysics of TSU is presented.

**Key words:** Thermobaric chamber, oblique rain, sprinkler system, hard precipitation, wind at a height, construction

## GOOD PRACTICES OF LANDSLIDE HAZARD MONITORING AS A SUPPORT FOR SUSTAINABLE SPACE DEVELOPMENT – EXAMPLES FROM POLAND

\*Prus B., \*\*Bacior S.

\**Department of Land Management and Spatial Architecture, Faculty of Environmental Engineering and Land Surveying, University of Agriculture in Krakow, Krakow, Poland, b.prus@urk.edu.pl*

\*\**Department of Land Surveying, Cadaster and Photogrammetry, Faculty of Environmental Engineering and Land Surveying, University of Agriculture in Krakow, Krakow, Poland, s.bacior@urk.edu.pl*

**Abstract.** *The southern Poland has fragmented structure of land parcels, highly relief area, and the geological structure conducive to landslides. There are numerous examples of landslides. The Landslide Protection System is a project of national importance, which is being implemented in several stages. The basic objective of the SOPO project is to identify and document all landslides and areas potentially threatened by mass movements in Poland and establish a system of in-depth and surface monitoring. This provides a starting point for mapping landslide susceptibility and, at a later stage, for developing a system of forecasting, assessment and mitigation of landslide hazards in Poland, i.e. for limiting to a considerable extent the damage and destruction caused by landslide development.*

**Keywords.** *property boundaries, landslides, risk maps*

### Introduction

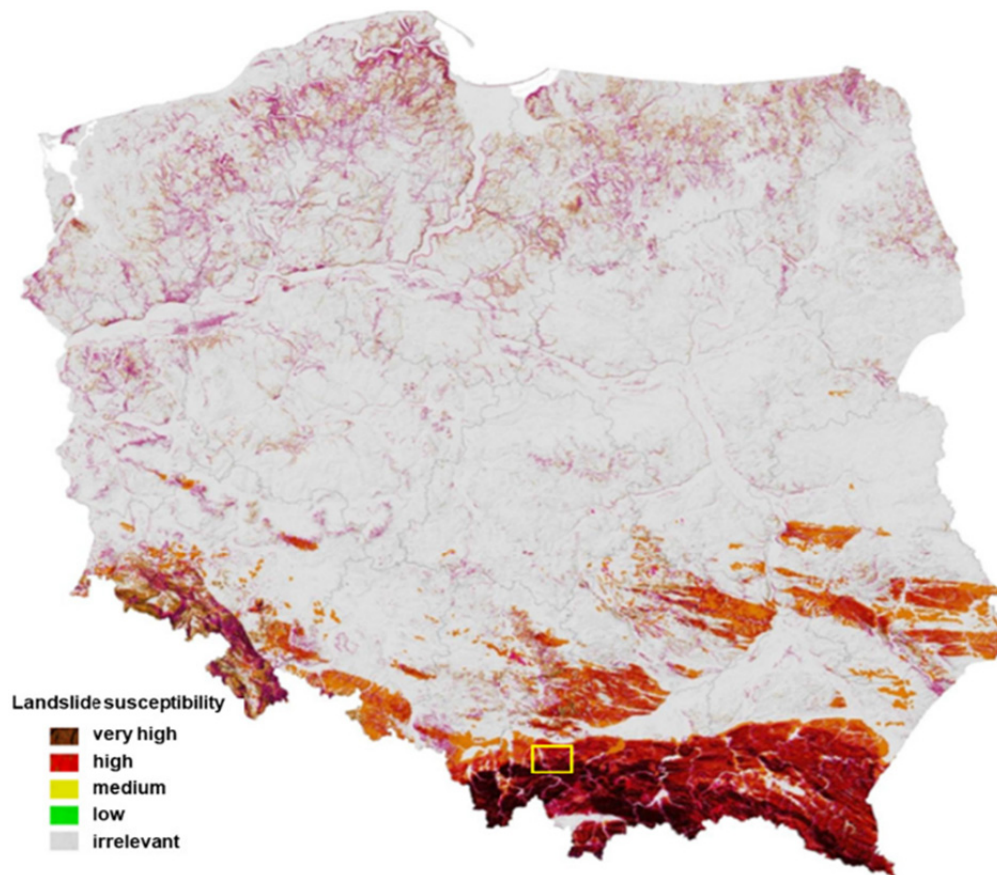
At the global scale Poland is described as a country with low susceptibility to landslides [1]. The European Landslide Susceptibility Map made within the ELSUS1000 project available on the website of the European Soil Data Centre (ESDAC) only in the southern part of Poland, in the Carpathian Mountains and in parts of the Sudety Mountains the landslide susceptibility was described as medium and in some places high [2].

The occurrence of landslides depends on a set of factors that determine the stability of slopes. These are referred to as passive factors and include (1) geological conditions i.e. lithological and tectonic conditions, (2) morphological conditions such as slopes, exposure and slope shape, (3) hydrological and hydrogeological conditions and (4) land cover [3]. On the other hand, the occurrence of a landslide itself is triggered by active factors, i.e. precipitation, fluvial or marine erosion, seismic shaking or human activity [4].

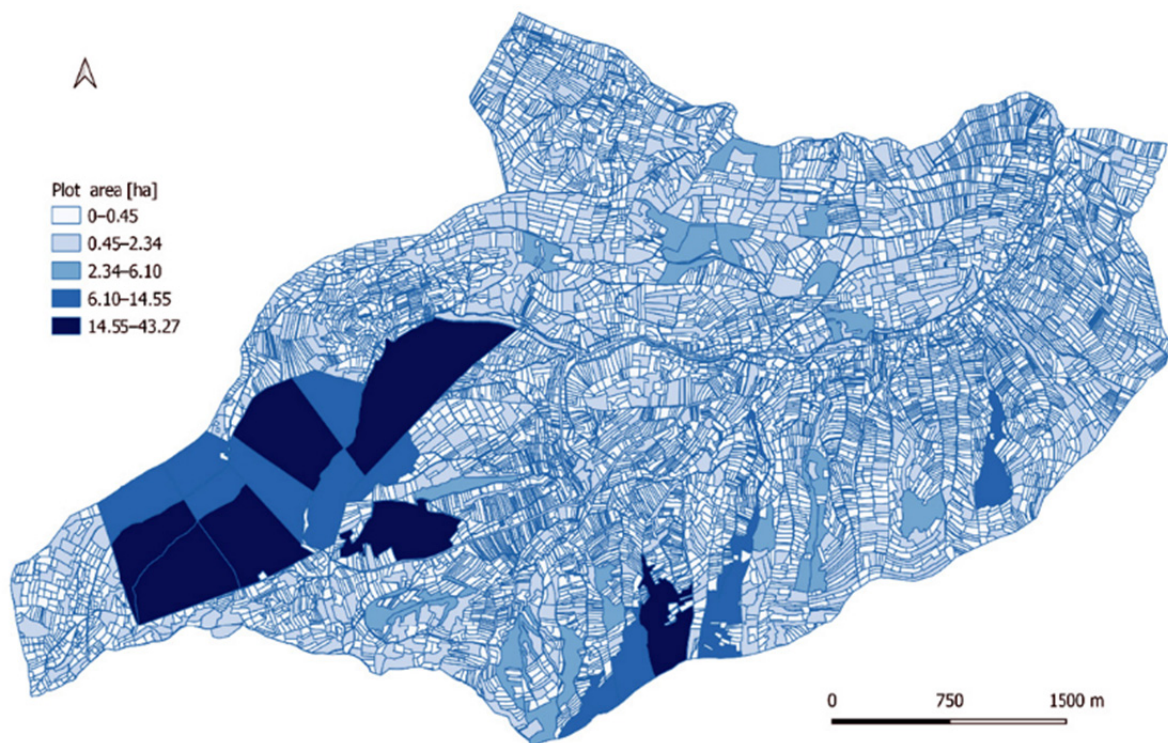
The most susceptible areas to mass movements are those where landslides have already occurred. In practice, a landslide susceptibility map is drawn up on the basis of an analysis of known factors [5]. The map gives a picture of the potential for landslides to occur in a given area due to the environmental conditions there [6]. Until a few years ago, the landslide hazard message in Poland limited the problem of mass movements to the Carpathian Mountains. On the basis of the inventory of landslides in Poland in 1968-1970, a map with the distribution of areas threatened by mass movements was prepared (fig. 1). This was the basis for the development of the Landslide Protection System (SOPO), which covers the whole country. Conducted by means of a uniform and consistent method, the inventory of landslides [7] and provides an increasingly detailed picture of Poland in terms of landslide hazards.

The scale of the landslide problem, with particular attention paid to land tenure relations, can be seen on the example of one of the foothill villages, Grzechynia, located in the county of Sucha Beskidzka, in the

municipality of Maków Podhalański. Due to the high fragmentation of land parcels, there are more than 10,000 land parcels in an area of approximately 18.3 km<sup>2</sup>, with an average plot size of 0.18 hectares (see fig. 2, table 1).



**Fig. 1.** Landslide susceptibility map of Poland with mark on the village Grzechynia in Carpathian Mountains (yellow rectangle). Source: own study based on [3].



**Fig. 2.** Spatial distribution of plot sizes in one of the village in Carpathian Mountains in Poland – the village of Grzechynia. Source: own study.



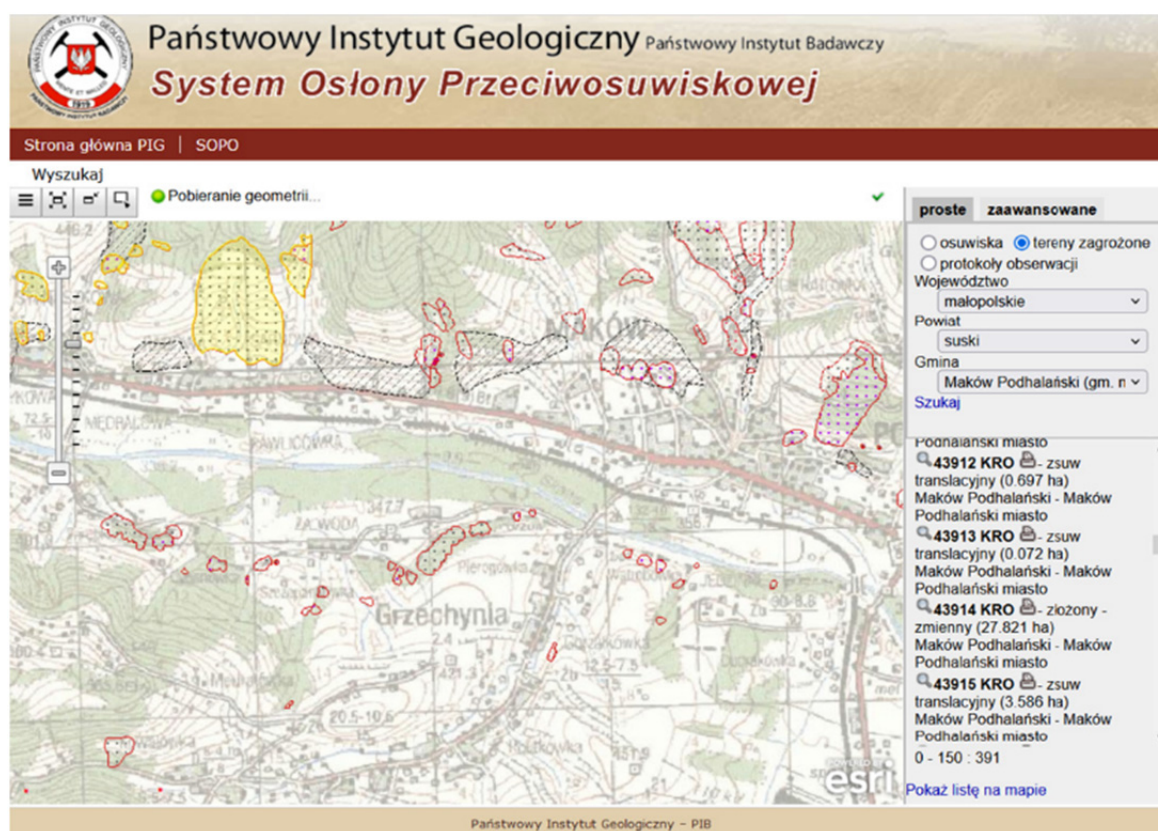
**Table 1. The characteristics of plots in Grzechynia village in Carpathian Mountains.**

No	Size of plots (in hectares)	Number of plots	Percentage proportion to the total number of plots	Total area of plots in size groups (in hectares)	Percentage proportion to the total plots area	Average area (in hectares)
1	0-0.45	9,548	95.1	1139.37	62.3	0.12
2	0.45-2.34	455	4.5	328.93	18.0	0.72
3	2.34-6.10	24	0.2	95.24	5.2	3.97
4	6.10-14.55	11	0.1	117.23	6.4	10.66
5	14.55-43.27	6	0.1	148.06	8.1	24.68
Total		10,044	100%	1828.83	100%	0.18

Source: own study

### Landslide Protection System (SOPO) and landslide data

The specialists from the Geohazards Centre of the Polish Geological Institute and a dozen geological companies in southern part of Poland have already located and inventoried over 70,000 landslides and over 6,500 areas at risk. As we can observe there are some examples of risk areas also in Grzechynia village (fig. 3). In Poland monitoring is being carried out on several dozen particularly hazardous and active landslides using the latest research methods. Approximately 38% of the landslides are classified as active and periodically active. The proportion of active landslides may now be higher, as mass movements are dynamically variable phenomena in time, and some of the work was done before the so-called landslide catastrophe of 2010, which resulted in thousands of landslides becoming active.



**Fig. 3. The front page of Landslide Protection System in Poland for landslide data searching.**

Most mass movements and their associated hazards occur in the Carpathian Mountains contributing to serious material losses. For this reason, the main emphasis of mapping work has so far been on the Silesian,

Lesser Poland and Subcarpathian Voivodeships. The current state of reconnaissance makes it possible to estimate that there may be more than 100,000 landslides in Poland [8].

On the basis of landslide susceptibility data, it can be concluded that the probability of landslides is about 15% of the area of Poland. Very often, mass movements are recorded in anthropogenic embankments, which were not taken into account in the draft SOPO. Very high and high landslide susceptibility together cover just over 6% of the country's area [3].

## Conclusions

The landslide susceptibility map of Poland provides an indicative picture of the hazards that may arise from mass movements. The researchers compared the susceptibility map with the database of topographic objects at a scale of 1:10,000. They calculated that in the landslide-prone area, which accounts for 15% of the country's area, there are 1 051 989 buildings, of which more than 570 000 are residential buildings. More than 25,000 industrial buildings are located in landslide-prone areas, while there are 9,520 public buildings. Approximately 7080 km of roads, and 585 km of railway lines run through these areas. It can therefore be concluded that there is a very large number of vulnerable infrastructure in Poland that may be threatened to some extent by landslides in the future [3].

Due to the small scale of the input data, the landslide map available in the Landslide Protection System cannot be used for spatial planning purposes – however, it is of great illustrative value and has another important application as it is the basis for estimating the costs of planned landslide inventory works and their verification in individual administrative units. There are also examples of more accurate local landslide maps, which can be used for planning purposes [9].

The Landslide Susceptibility Map of Poland is updated annually. As the number of identified landslides increases, so does its quality and accuracy. Further improvement of the quality and detail of this map may enable better and more accurate input data and further development of methods of landslide susceptibility calculations in the future.

## References

- [1] Van Den Eeckhaut M., Hervás J., Jaedicke C., Malet J.P., Montanarella L., Nadim F. Statistical modelling of Europe – wide landslide susceptibility using limited landslide inventory data. // *Landslides*, 9, 2012, pp. 357–369.
- [2] Wilde M., Günther A., Reichenbach P., Malet J-P. & Hervás J. Pan-European landslide susceptibility mapping: ELSUS Version 2. // *Journal of Maps*, 14:2, 2018, pp. 97-104, DOI: 10.1080/17445647.2018.1432511
- [3] Wojciechowski T. Landslide susceptibility of Poland. // *Przegląd Geologiczny*, 67, 2019, pp. 320–325; doi: 10.7306/2019.25, (in Polish)
- [4] Saleem N, Huq M.E, Twumasi NYD, Javed A, Sajjad A. Parameters derived from and/or used with digital elevation models (DEMs) for landslide susceptibility mapping and landslide risk assessment: a review. // *ISPRS Int J Geoinf* 8, 2019, 545, <https://doi.org/10.3390/ijgi8120545>
- [5] Arabameri A, Saha S, Roy J, Chen W, Blaschke T, Bui DT. Landslide susceptibility evaluation and management using different machine learning methods in the Gallicash River Watershed, Iran. // *Remote Sens* 12(475), 2020, pp. 1–29. <https://doi.org/10.3390/rs12030475>
- [6] Reichenbach P, Rossi M, Malamud B, Mihir M, Guzzetti F. A review of statistically-based landslide susceptibility models. // *Earth Sci Rev* 180, 2018, pp. 60–91. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001>
- [7] Grabowski D., Marciniec P., Mrozek T., Nescieruk P., Ręczkowski W., Zimnal Z. Instructions for developing a map of landslides and areas at risk of mass movements on a scale of 1:10,000. // State Geological Institute, 92, 2008 (in Polish)
- [8] Wójcik A., Wojciechowski T. Landslide as one of the most important elements of geological hazards in Poland. // *Przegląd Geologiczny*, 64 (9), 2016, pp. 701–709, (in Polish)
- [9] Małka A. Landslide susceptibility mapping of Gdynia using geographic information system-based statistical models. // *Natural Hazards* 107, 2021, pp. 639–674, <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04599-8>

## კოსმოსური სხივების მოდულაციური ეფექტები მზის აქტივობებთან კავშირში

ბაქრაძე თ., ლლონტი ნ., ერქომაიშვილი ტ., დემურიშვილი ზ.,  
თაყაძე გ., ბარბაქაძე პ., გოგუა რ., ალანია ე.

მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო

**ანოტაცია:** კოსმოსური სხივების ვარიაციების შესწავლა მზეზე მიმდინარე ქრომოსფერული აალების დროს არის მნიშვნელოვანი საკითხი თანამედროვე კოსმოფიზიკაში, რადგან მათ მოაქვთ მნიშვნელოვანი ინფორმაცია იმის შესახებ, რასაც ადგილი აქვს საპლანეტათაშორისო და დედამიწის ახლომდებარე კოსმოსურ სივრცეში. სტატიაში მოყვანილია კოსმოსური სხივების ინტენსივობისა და გეომაგნიტური ველის დაძაბულობის ვარიაციები, როცა დედამიწა განიცდის მზის ქრომოსფერული აალების მაღალჩქაროსნული დარტყმითი ტალღის ნაკადის ზემოქმედებას. მონაცემები მიღებულია და დამუშავებულია ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის კოსმოფიზიკურ და გეომაგნიტურ ობსერვატორიებში 2024 წლის 8-13 მაისს. გაანალიზებულია კავშირი კოსმოსური სხივების ფორბუშ ეფექტსა და გეომაგნიტური ველის მონაცემებს შორის.

**საკვანძო სიტყვები:** კოსმოსური სხივები, ფორბუშ ეფექტები, მაგნიტოსფერო, მზის ქარი

### 1. შესავალი

თანამედროვე სამყაროში უამრავი მეცნიერი და სხვადასხვა მიმართულების სპეციალისტია დაინტერესებული მზე-დედამიწის კავშირების ფიზიკის შესწავლით, რასაც დიდი მნიშვნელობა აქვს კაცობრიობის განვითარებისთვის. მზე-დედამიწის ფიზიკის კვლევებმა გაზარდა ინტერესი მზის კორპუსკულური და ელექტრო-მაგნიტური გამოსხივების მიმართ, რადგან ისინი დიდ გავლენას ახდენენ დედამიწის მაგნიტურ ველსა და მაღალი ატმოსფეროს ფენებზე. კვლევები დაიწყო იონოსფეროს, მაგნიტური და კოსმოსური სხივების მონაცემების ვარიაციების შესწავლით. დღეისთვის ეს კვლევები მოიცავს კოსმოსურ სივრცეში მიმდინარე რთულ პროცესებს, რომელიც დაკავშირებულია ნივთიერებისა და ენერჯის გადაცემასთან საპლანეტათაშორისო სივრციდან დედამიწაზე.

ჩვენი მიზანია, კარგად შევისწავლოთ ჩვენი პლანეტა, შევიცნოთ კავშირები ჩვენს ირგვლივ არსებულ კოსმოსურ სამყაროსთან, შევიმეცნოთ სამყაროს ევოლუცია. ამისათვის ძალიან მნიშვნელოვანია, რომ ვაკვირდებოდეთ სამყაროში მიმდინარე რთულ პროცესებს: მზის ელექტრომაგნიტურ და კორპუსკულურულ გამოსხივებებს, მათ გადაადგილებას საპლანეტათაშორისო სივრცეში, მათ დამოკიდებულებას დედამიწის მაგნიტურ ველსა და ატმოსფეროს მაღალ ფენებში მიმდინარე პროცესებთან.

მზის მდგომარეობას დიდი გავლენა აქვს ყველა იმ პროცესებზე, რომლებიც მიმდინარეობს დედამიწაზე. ჩვენს ირგვლივ არსებული გარემო ბევრადაა დამოკიდებული მზეზე აქტივობების განხილვასთან. მზე აქტიურ ზემოქმედებას ახდენს დედამიწის ატმოსფეროს მდგომარეობაზე, სხვადასხვა ორგანიზმების სიცოცხლის უნარიანობაზე. ერთ-ერთ ასეთ ზემოქმედების ეფექტს მიეკუთვნება აფეთქებები მზეზე და მათი გავლენა დედამიწაზე.



## 2. აფეთქებები მზეზე

კოსმოსში მიმდინარე პროცესები კარგად დაიკვირვება დედამიწაზე და, რასაკვირველია, ყველაფერი ეს აისახება საყოფაცხოვრებო პირობებზე. მათ შორისაა კოსმოსური მაშტაბებით მცირე ცვალებადი მოვლენები მზეზე მომხდარი აფეთქებების სახით, რომელსაც უწოდებენ ქრომოსფერულ აალებებს. ქრომოსფერული აალებების შედეგად გამოყოფილი ენერგიის მცირე ნაწილი, რომელიც აღწევს დედამიწაზე, საკმარისი ხდება იმისთვის, რომ შეიცვალოს დედამიწის ატმოსფეროს მდგომარეობა, გამოიწვიოს მაგნიტური ქარიშხლები, პოლარული ნათებები, რადიოკავშირების დარღვევები და სხვა ეფექტები. ამიტომ მზის აფეთქების შესწავლა წარმოადგენს არა მარტო თეორიულ ინტერესს, არამედ პრაქტიკულსაც. გავიგებთ რა მის ხასიათს, ჩვენ მოგვეცემა საშუალება დროულად მივიღოთ შესაბამისი ღონისძიებები შემდგომი პროცესების გართულებების თავიდან ასაცილებლად, ადამიანის შემოქმედების სხვადასხვა სფეროში. [4]

მეცნიერული თვალსაზრისით მზეზე მიმდინარე აფეთქებების შესწავლა გვაძლევს ცოდნას ევოლუციის ფუნდამენტალური კანონებზე, ასევე სხვა პლანეტების ატმოსფეროს თვისებებსა და ნივთიერებების მდგომარეობის შესახებ, რაც შეუძლებელია ლაბორატორიულ პირობებში.

ჩვენი ნაშრომის ძირითად მიზანს წარმოადგენს მზეზე მიმდინარე აფეთქებები და მისი გავლენა კოსმოსური სხივების ვარიაციებზე და მაგნიტოსფეროზე.

## 3. მაგნიტური ქარიშხლები

მაგნიტური ქარიშხლების წარმოშობა გამომწვეულია დედამიწის იონოსფეროზე ქრომოსფერული სფეროდან დამუხტული ნაწილაკების გამოტყორცნით. დარტყმითი ტალღის მიერ ნაწილაკების ნაკადი გამომწვეულია ნელა გავრცელებული გამოფრქვევებით, რომლებიც აღწევენ დედამიწამდე. ამ ნაწილაკების ნაკადს, რომელსაც გააჩნია დიდი ენერგია, შეუძლია შემოიჭრას იონოსფეროში და გამოიწვიოს მისი ნაწილის დარღვევა. აგრეთვე შესაძლებელია მოხდეს ატომების საკმაოდ მაღალი იონიზაცია, რომლებიც განაპირობებენ ულტრაიისფერ გამოსხივებას. ჩვეულებრივად ეს შეშფოთებები თან სდევს იმ აალებებს, რომლებიც წარმოიშვებიან მზის დისკოს ცენტრთან ახლოს. შესაბამისად, ნაწილაკების ნაკადი, რომლებიც მზის აალების შედეგად გამოიტყორცნებიან და ბომბავენ დედამიწის ატმოსფეროს, მიმართულია დაახლოებით მზის ზედაპირის მართობულად. ეს ნაკადები წარმოადგენენ პლაზმის ღრუბლებს, რომლებსაც გააჩნიათ მაგნიტური ველი. ველის ძალწირები დაკავშირებულია (მიბმულია) პლაზმასთან და როგორც ამბობენ „ჩაყინული“ მასში და გადაიტანება ღრუბლებთან ერთად. დამუხტული ნაწილაკები მოძრაობენ მაგნიტური ძალწირების გასწვრივ დედამიწის ზედაპირიდან რამდენიმე ათასი კილომეტრის სიმაღლეზე. მაგნიტურ პოლუსებში ძალწირები განლაგებულია დედამიწის ზედაპირთან ახლოს, რის გამოც ნაწილაკების ნაკადი ატმოსფეროს უფრო ღრმა ფენებამდე აღწევს. ამ ნაკადის ატომებთან და მოლეკულებთან შეჯახების დროს ხდება მათზე ენერგიის ნაწილის გადაცემა და შედეგად მათი აღგზნება. [6]

უნდა აღინიშნოს, რომ როცა მზე წყნარ ფორმაშია გამოტყორცნის ნაწილაკების ნაკადს, რომელსაც „მზის ქარს“ უწოდებენ. მზის ქარის სიჩქარე (5-10) ჯერ მცირეა, ვიდრე იმ ნაკადისა, რომელიც მზეზე აალებების დროს ჩნდება. ამასთან, ნაწილაკების გაძლიერებული ნაკადი, რომელიც დედამიწას ეცემა, ასევე იწვევს მაგნიტურ ქარიშხალს.

თანამედროვე წარმოდგენების თანახმად, მაგნიტური ქარიშხლების ბუნება მჭიდროდაა დაკავშირებული მზის ქარის პლაზმის პარამეტრებთან. მზის ქარის პლაზმის პარამეტრების დაზუსტება მნიშვნელოვან როლს ასრულებს გეომაგნიტური ქარიშხლების ფორმირების შესწავლაში. პარამეტრების დადგენა ხდება საპლანეტათაშორისო სადგურებისა და სამეცნიერო თანამგზავრის მიერ უშუალო გაზომვებით და დედამიწის ზედაპირზე გეომაგნიტური ველის დაზუსტების საშუალებით. ინფორმაციის დამუშავება ხდება სინქრონული არხების პარამეტრების ცვილებების გამოყენებით.

#### 4. კოსმოსური სხივების ვარიაციების ფორბუმ ეფექტები

კოსმოსურ სხივები, როლებიც მაღალი ენერგიის დამუხტულ ნაწილაკებს წარმოადგენენ, აღწევენ რა გალაქტიკის სიღრმიდან და მზიდან, დედამიწაზე თან მოაქვთ ინფორმაცია იმ სივრცისა, სადაც ხდება მათი წარმოშობა, აჩქარება და გავრცელება. კოსმოსური სხივების ვარიაციების კვლევის მეთოდი საშუალებას გვაძლევს ინფორმაციის ეს არხი გამოვიყენოთ იმ პროცესების შესასწავლად, რომელსაც ადგილი აქვს საპლანეტათაშორისო სივრცეში მზეზე და დედამიწის ატმოსფეროში. [1]

რადგან პირველადი კოსმოსური სხივები არიან დამუხტული ნაწილაკები, ამიტომ დედამიწის მაგნიტური ველის ცვლილებას უნდა მოყვეს კოსმოსური სხივების ინტენსივობის ცვალებადობა. მაგნიტური ქარიშხლების დროს კოსმოსური სხივების ინტენსივობა სწრაფად იკლებს მთავარი ფაზის დაწყების შემდეგ და აღდგება შედარებით ნელა ნორმალურ მდგომარეობამდე.

დედამიწაზე დაკვირვებული კოსმოსური სხივების ვარიაციები შეიძლება დავყოთ სამ კლასად: ატმოსფერული, გეომაგნიტური და არამიწიერი წარმოშობის ვარიაციები. ატმოსფერული ვარიაციები გამონწვეულია გენერაციის ინტეგრალური ჯერადობით, ანუ საშუალოდ ერთ პირველად ნაწილაკზე მოსული ხელსაწყოს მიერ რეგისტრირებული ნაწილაკების რიცხვის ცვლილებით. ამ ვარიაციების სიდიდე ძირითადად დამოკიდებულია ატმოსფეროს სიმკვრივეზე, წნევაზე და ტემპერატურაზე. გეომაგნიტური ვარიაციები გამონწვეულია დედამიწის გულში და მაგნიტოსფეროში მიმინარე პროცესების გავლენებით მის მაგნიტურ ველზე. ასეთი ტიპის ვარიაციები იწვევენ კოსმოსური სხივების ინტენსივობის შეცვლას. არამიწიერი ვარიაციების მიზეზი კი შეიძლება იყოს გალაქტიკური კოსმოსური სხივების ურთიერთქმედება მზის ქართან და მაგნიტურ ველებთან. [2]

აფეთქებები მზეზე დაკავშირებულია ერთ-ერთ გეოფიზიკურ მოვლენასთან გალაქტიკური კოსმოსური სხივების დაცემასთან. ისინი იწოდებიან როგორც მზის ფორბუმ ეფექტები (დაცემები). ეს მოვლენა აიხსნება იმით, რომ მზის ქრომოსფერული აფეთქებების მიერ გამოტყორცნილ ნაკადს თან მოაქვს საკმაოდ მნიშვნელოვანი მაგნიტური ველი და კოსმოსური სხივები, რომლებიც ნაწილობრივ გაიფანტება, ნაწილობრივ კი აირეკლება დედამიწიდან უკუმიმართულებით კოსმოსური სივრცისკენ. ასეთი ნაკადი გარკვეული დროის განმავლობაში (რამოდენიმე დღე) გვევლინება, როგორც ეკრანი დედამიწის დასაცავად გალაქტიკური კოსმოსური სხივებისაგან, რასაც მივყავართ გალაქტიკური კოსმოსური სხივების დაცემასთან (ფორბუმ ეფექტი).

შევეცადოთ ავხსნათ ფორბუმ დაცემის ეფექტი საპლანეტათაშორისო სივრცეში და დედამიწის ზედაპირზე.

მზის მაგნიტურ ველს აქვს დაძაბულობა რამდენიმე გაუსი. აქტიურ უბნებში, სადაც ხდება მზის აფეთქებები არსებობენ ძლიერი ლოკალური მაგნიტური ველები. მზის მაგნიტური ველი ინდუქცირებს ელექტრულ ველს იონიზირებულ გაზის ნაკადში, რომლებიც გამოედინებიან მზიდან. იმის გამო, რომ ეს გაზი გვევლინება იდეალურ ელექტრულ გამტარად, მასზე მოდებული დენი განაგრძობს ცირკულირებას ხანგრძლივი დროის განმავლობაში, სანამ გაზი არ დაშორდება მზეს. ეს დენები ქმნიან მაგნიტურ ველებს, ხოლო მზის აალებების დროს გამოტყორცნილ პლაზმას, რომელიც მოძრაობს დარტყმითი ტალღის ფრონტის გასწვრივ, გააჩნია საკმაოდ ძლიერი ველი. სწორედ ეს ველი „გამოფერთხავს“ კოსმოსურ ნაწილაკებს მზის სისტემიდან, რაც იწვევს კოსმოსური სხივების დაცემის ფორბუმ ეფექტს. თვითონ ეს ეფექტი გულისხმობს კოსმოსური სხივების ინტენსივობის მყისიერ დაცემას, რომელიც მნიშვნელოვნად შესამჩნევია მზის მაღალი აქტიობის პირობებში. ეს ეფექტი ხასიათდება კოსმოსური სხივების დიდი ასიმეტრიული მყისიერი შემცირებებით, რომლებიც გრძელდება რამოდენიმე დღის განმავლობაში. ისინი გავრცელებული არიან მთელ სამყაროში, რის გამოც ის მიეკუთვნება საპლანეტათაშორისო სივრცის მაგნიტური ველის დიდ ცვლილებას, ვარიაციას.

ფორბუმ დაცემის ეფექტი არის ის გეოფიზიკური მოვლენა, რომელიც ყოველთვის ხდება, მაშინაც, როცა მზეზე ადგილი აქვს დიდ აფეთქებებს. აფეთქებებიდან დაახლოებით 1 დღის შემდეგ დე-

დამინაზე იწყება მაგნიტური ქარიშხლები. დასაწყისში დაიკვირვება დედამიწის მაგნიტული ველის მოკლეპერიოდული მომატება, დაახლოებით 0,1% ნორმალური მდგომარეობიდან. შემდეგ მოდის მაგნიტური ველის დაძაბულობის შემცირება რამდენიმე პროცენტით და ის გრძელდება რამოდენიმე საათის განმავლობაში (მთავარი ფაზა) და ბოლოს რამოდენიმე დღის შემდეგ მაგნიტური ველი თანდათანობით აღდგება და დაუბრუნდება თავის ნორმალურ მდგომარეობას. [3]

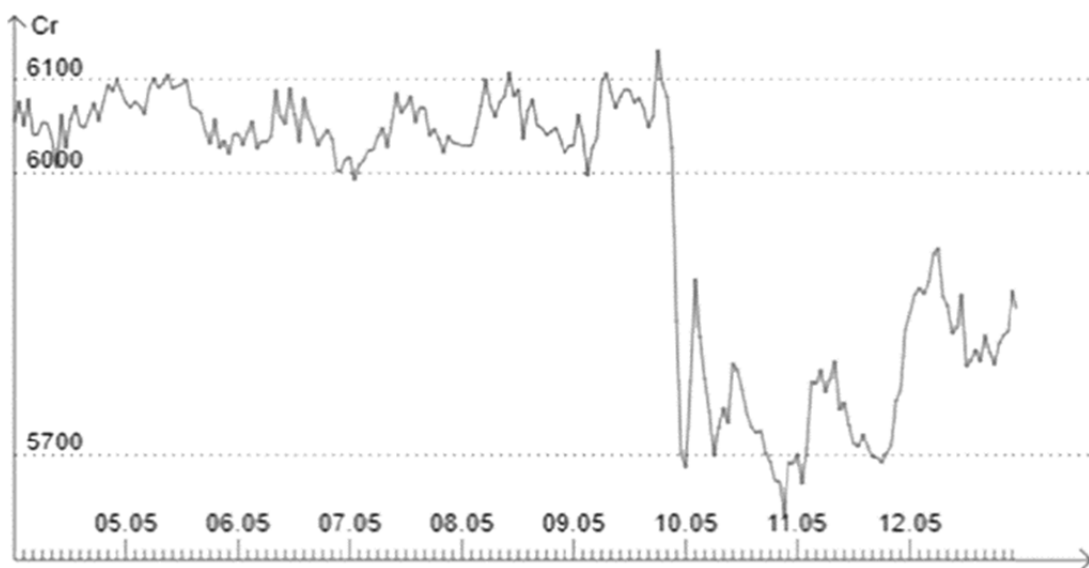
რადგან პირველადი კოსმოსური სხივები არიან დამუხტული ნაწილაკები, ამიტომ დედამიწის მაგნიტური ველის ცვლილებას უნდა მოყვეს კოსმოსური სხივების ინტენსივობის ცვლილება. მაგნიტური ქარიშხლების დროს კოსმოსური სხივების ინტენსივობა სწრაფად იკლებს, მთავარი ფაზის დაწყების შემდეგ და აღდგენა ხდება ნორმალურ მდგომარეობაში შედარებით ნელა. გეომაგნიტური ქარიშხლების წყარო მზეზე მიმდინარე პროცესებია, რაც გამოიხატება მზეზე შავი ლაქების რაოდენობის ზრდით. მზე ამჟამად იმყოფება 25-ე ციკლის აღმავალ ფაზაში, რომელიც 2019 წელს დაიწყო და 2030 წელს დასრულდება. მოცემული ციკლის მაქსიმუმი არის 2025 წელს და შესაბამისად უფრო დიდ ქარიშხლებს უნდა ველოდოთ.

კოსმოსური სხივების ვარიაციებსა და გეომაგნიტური ველის დაძაბულობის მონაცემებს შორის კავშირს დიდი მნიშვნელობა აქვს მიმდინარე ფიზიკური პროცესების შესწავლისას, განსაკუთრებით იმ დროს, როცა დედამიწა განიცდის დარტყმითი ტალღის მაღალჩქაროსნული ნაკადების ზეგავლენას მზის ქრომოსფერული აფეთქებისას.

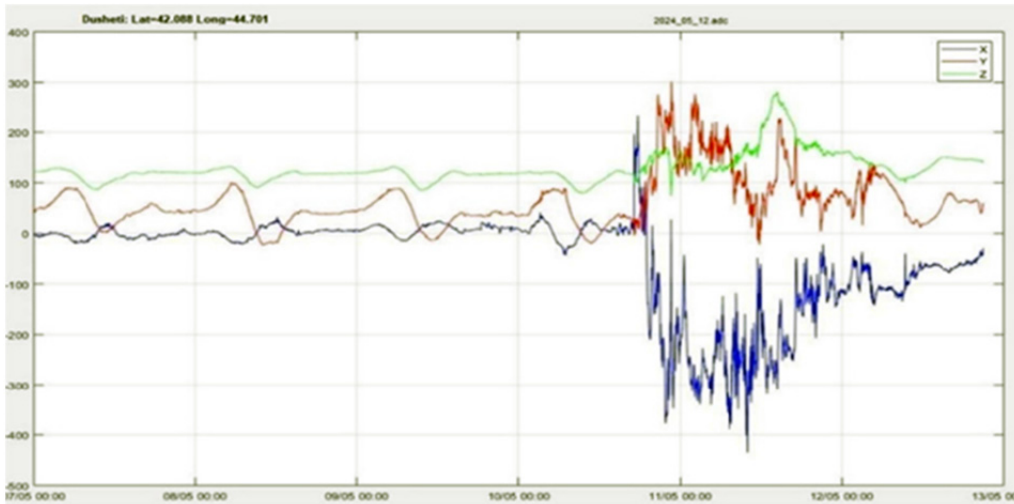
მაგნიტური ქარიშხლების დროს, როცა საპლანეტათაშორისო დარტყმითი ტალღის გამო ხდება დედამიწის მაგნიტოსფეროს სტრუქტურის ცვლილება და ძლიერდება მაგნიტოსფერული დენური სისტემები, იცვლება კოსმოსური სხივების ვარიაციების ინტენსივობა.

კოსმოსური სხივების ენერგეტიკული სპექტრი ფორბუმ ეფექტების დროს წარმოადგენს მგრძობიარე ზონდს, მზე-დედამიწის სივრცეში ელექტრომაგნიტური პირობების შესასწავლად.

გალაქტიკური კოსმოსური სხივების შემცირება გეომაგნიტური ქარიშხლების დროს, (ფორბუმ ეფექტი) არის აქტუალური საკითხი თანამედროვე კოსმოფიზიკაში, რადგან მათ მოაქვთ ფასეული ინფორმაცია იმის შესახებ, რაც ხდება საპლანეტათაშორისო და დედამიწის ახლომდებარე კოსმოსურ სივრცეში. კოსმოსური სხივების ინტენსივობის ვარიაციების განხილვისას ჩვენ გამოვიყენეთ კოსმოსური სხივების ნეიტრონული კომპონენტის მონაცემები, რადგან ისინი უფრო მგრძობიარენი არიან მზე-დედამიწის სივრცეში ელექტრომაგნიტური თვისებების ცვლილებების მიმართ და დამოკიდებულია მხოლოდ ატმოსფერული წნევის ცვლილებაზე, რომელიც გათვალისწინებულია მონაცემების დამუშავებისას.



ნახ. 1 თბილისის კოსმოფიზიკური ობსერვატორიის მონაცემები.



**ნახ. 2 დუშეთის გეომაგნიტური ობსერვატორიის მონაცემები.**

ჩვენს მიზანს შეადგენდა ერთმანეთთან დაგვეკავშირებინა კოსმოსური სხივების ინტენსივობის ვარიაცია და გეომაგნიტური ველის დაძაბულობა იმ დროს, როცა მზეზე მოხდა ასეთი მძლავრი აფეთქება.

კოსმოსური სხივების ინტენსივობის ვარიაციების ნეიტრონული მონიტორისა და წნევის მონაცემების დამუშავება მოხდა თბილისის კოსმოფიზიკურ ობსერვატორიაში. მიღებული შედეგები შევადარეთ დუშეთის გეომაგნიტური ობსერვატორიიდან მიღებულ მაგნიტური ველის დაძაბულობის მონაცემებს.

თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის, მ. ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის კოსმოფიზიკურ ობსერვატორიაში უკვე რამოდენიმე ათეული წელია მიმდინარეობს კოსმოსური სხივების ნეიტრონული კომპონენტისა და ატმოსფერული წნევის უწყვეტი რეგისტრაცია. სწორედ ეს ჩვენი მონაცემებია გამოყენებული აღნიშნულ სტატიაში. გეომეგნიტური ველის მონაცემები მოგვანოდა დუშეთის გეოფიზიკურმა ობსერვატორიამ.

2024 წლის 10 მაისს დედამიწაზე დაფიქსირდა ამ საუკუნეში ინტენსივობით მეორე უმაღლესი G5 კლასის მაგნიტური ქარიშხალი.

ჩვენს სტატიაში შევეცადეთ დაგვეკავშირებინა ერთმანეთთან კოსმოსური სხივების ვარიაციები ფორბუშ ეფექტებსა და გეომაგნიტურ ველის დაძაბულობებს შორის.

კოსმოსური სხივების ინტენსივობის დაცემა ფორბუშის ტიპისაა და ანალოგიურია მაგნიტური ქარიშხლების ცვლილებისა. ამ ჩანაწერებში შეიძლება გამოვყოთ სამი ფაზა:

1. სანყისი ფაზა – გამოიხატება კოსმოსური სხივების ინტენსივობის მცირე მატებაში;
2. მთავარი ფაზა – სწრაფი დაცემა კოსმოსური სხივების ინტენსივობისა. (6.5%-ით)
3. აღდგენის ფაზა – როცა მიაღწევს მინიმუმს, შემდეგ კოსმოსური სხივების ინტენსივობა რამოდენიმე დღის განმავლობაში (ჩვენს შემთხვევაში 3 დღე) უბრუნდება თავის პირვანდელ მნიშვნელობას.

ყველა ეს სამივე ფაზა გამოვლინდა დედამიწის მაგნიტური ველის ჩანაწერებში. ხანგრძლივობის მიხედვით ისინი თითქმის ერთნაირია და ერთმანეთთან კარგ კორელაციაში იმყოფება. აქედან შეიძლება დავასკვნათ, რომ კოსმოსური სხივების ფორბუშ ეფექტსა და დედამიწის გეომაგნიტური ველის ქარიშხლებს საერთო მიზეზი აქვთ, რომელიც გამონვეულია მზეზე მიმდინარე ფეთქებადი პროცესების არსებობით.

## ლიტერატურა

- [1] Дорман Л.И. Вариации космических лучей и Исследование космоса. // Изд-во “Наука”, М., 1963 г.
- [2] Росси Б. Космические лучи. // Атомиздам, 1966 г.
- [3] Эгеланда А., Холтера О., Омхольма А. Космическая геофизика. // Изд-во „Мир”, М., 1976 г.
- [4] Горбачкий В. Г. Космические взрывы. // Изд-во “Наука”, М., 1979 г.
- [5] Анномова Л. А. Солнечная активность и ионосфера. // Изд-во “Наука”, М., 1989 г.
- [6] Маккина Р., Нейгебауер М. Солнечный ветер. // Изд-во “Мир” М., 1968 г.
- [7] ბაკრაძე თ. ს., გლონტი ნ. ი., ერკომაიშვილი ტ. გ., დემურიშვილი ზ. ნ., ალანია ე. მ., თაყაძე გ. ი., ბარბაკაძე პ. ა. საპლანეტათაშორისო მაგნიტური ველის სექტორული სტრუქტურა და მისი გავლენა კოსმოსურ სხივების ფორბუშ ეფექტებზე. // საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, თბილისი 2023 წ.

## MODULATING EFFECTS OF COSMIC RAYS ON SOLAR ACTIVITIES

**Bakradze T., Glonti N., Erkomaishvili T., Demurishvili Z., Takadze G.,  
Barbakadze P., Gogua R., Alania E.**

***Abstract.** Study of Variation of Cosmic Rays, during solar chromospheric flares is an important issue in modern cosmophysics because they provide us with relevant information about what the processes taking place in the interplanetary and near-Earth space.*

*The article, discusses the variations of cosmic ray intensity and geomagnetic field tension, when the earth is affected by the high-speed shock wave flow of the solar chromospheric flare. The data were obtained and analyzed in the cosmophysical and geomagnetic observatories at the M. Nodia Institute of Geophysics of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University on May 8-13, 2024. The relationship between the Forbush effect of cosmic rays and geomagnetic field data is analyzed.*

**Key words:** *Cosmic rays, Forush effects, Magnetosphere, Solar wind.*

## სარჩევი – Content

გოგუა რ. – დუშეთის (თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორია ერთ-ერთი უძველესია მსოფლიოში	3
Gogua R. – Dusheti (Tbilisi) Magnetic Observatory is One of the Oldest in the World	6
Varamashvili N., Darakhvelidze L. – Academician Tamaz Chelidze – 90	7
ჭელიძე თ., გოგუა რ., მათიაშვილი თ. – დუშეთის (თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორიის მნიშვნელობა ქართული სამეცნიერო სივრცისათვის	9
Chelidze T., Gogua R., Matiashvili T. – The importance of the Dusheti (Tbilisi) Magnetic Observatory for the Georgian Scientific Environment	12
Kiria T., Nikolaishvili M., Chkhaidze T., Mebaghisvili N. – Analysis of Geomagnetic Activity and Coronal Mass Ejections	13
Nazaretyan S.N., Mirzoyan L.B., Nazaretyan S.S. – Basic Data for Compilation of a Special Macroseismic Scale for Assessing the Intensity of Historical Earthquakes in the Armenian Upland	17
Nazaretyan S.N., Mirzoyan L.B. – Important Features of the Methodology for Assessing the Maximum Seismic Risk of Large Territories (Based on the Example of Armenia)	21
Hovhannisyan S.R., Movsisyan A.D. – Regularity of Periods of Tectonomagnetic Precursors	26
Alania V., Enukidze O., Razmadze A. – Tectonic Model of the Georgian Part of Lesser Caucasus Orogen Using Seismic Profile	29
არაბიძე ვ., ჩხიკვაძე კ., გიგბერია მ., ლლონტი ნ. – გეოლოგიური რღვევის გავლენა ფერდობის მდგრადობაზე	30
Arabidze V., Chkhikvadze K., Gigiberia M., Ghlonti N. – Effect of Geological Faulting on Slope Stability	33
Karimova F.B., Dzhumaniyazov D.I. – Small Intrusions and Dikes Associated with Ore Formation (Almalyk-Angren Mining District)	34
Gorgijandze S., Gorgodze T., Jincharadze G., Kobakhidze N., Gulashvili Z., Silagadze M., Dvalashvili G. – Crucial Moment of Topographic Map for Effective Management of Natural Disasters	37
შენგელია ლ., კორძახია გ., თვაური გ., გულიაშვილი გ., ძაძამია მ. – მდ. რიონის აუზში მდებარე მყინვარების მორფოლოგიაზე და ექსპოზიციაზე თანამგზავრული დისტანციური დაკვირვების შედეგები	40
Shengelia L., Kordzakhia G., Tvauri G., Guliashvili G., Dzadzamia M. – Results of the Study of the Morphology and Exposure of Glaciers in the r. Rioni Basin on Satellite Remote Sensing	44
გიგბერია მ., ქირია ჯ. – ლისის ტბის მიმდებარე ტერიტორიაზე ჩატარებული გეოფიზიკური კვლევის შედეგები	45
Gigiberia M., Kiria J. – Results of the Geophysical Survey Conducted in the Vicinity of Lisi Lake	48
ვარამაშვილი ნ., გიგბერია მ. – რიკოთის ხიდის რკინაბეტონის მალის შესწავლა ულტრაბგერითი მეთოდით	49
Varamashvili N., Gigiberia M. – Study of the Reinforced Concrete Construction of Ricoti Bridge by Ultrasonic Method	52
ოდილავაძე დ., ჭელიძე თ., იავოლოვსკაია ო. – არქეოგეორადიოლოკაციურად რთული აგებულების ობიექტის ფიზიკური მოდელირების მეთოდით გამოკვლეული რადიოსახეები	53
Odilavadze D., Chelidze T., Yavolovskaya O. – Radio Images Investigated by the Method of Physical Modeling of an Archaeogeoradiolocationally Complex Building Object	56
შავლიაშვილი ლ., კუჭავა გ., შუბლაძე ე., ქურციკიძე ო., კორძახია გ., გავარდაშვილი გ. – ქიათურის მუნიციპალიტეტის ბუნებრივი წყლებისა და ნიადაგების კვლევის შედეგები	57
Shavliashvili L., Kuchava G., Shubladze E., Kurtsikidze O., Gavardashvili G., Kordzakhia G. – Results of Research of Natural Waters and Soils of Chiatura Municipality	62
ბასილაშვილი ც. – წყალმოვარდნების განახლებული უდიდესი მაქსიმალური ხარჯები დასავლეთ საქართველოს მდინარეებზე წყალსამეურნეო გაანგარიშებებისათვის	64
Basilashvili Ts. – Updated Maximum Flood Discharges for Hydrological Calculations of the Rivers in Western Georgia	68
Kerimov I.A., Bratkov V.V., Bekmurzaeva L.R. – Assessment of Modern Agroclimatic Conditions of the North Caucasus in the Context of Climate Change	69
მელაძე მ., მელაძე გ., კაპანაძე ნ., ფიფია მ. – გვალვების გავლენა საქართველოს	72

აღმოსავლეთ რეგიონების აგრარულ სექტორზე Meladze M., Meladze G., Kapanadze N., Pipia M. – Impact of Droughts on the Agricultural Sector of the Eastern Georgia Regions	75
მარქარაშვილი ე., პაპიაშვილი კ., სნესარ ა., ხახუტაიშვილი ა. – საყოფაცხოვრებო მინის ნარჩენების ბაზაზე სამშენებლო ნებოცემენტი Markarashvili E., Papiashvili K., Snesar A., Khakhutaishvili A. – Construction Adhesive Cement Based on Household Glass Waste	76 78
მარქარაშვილი ე., ბაზღაძე ზ., ჩიკვაიძე ი., სიდამონიძე ნ., სნესარ ა. – კომპოზიტები ეპოქსიდური ფისისა და რეზინების ნარჩენების ბაზაზე Markarashvili E., Bazgadze Z., G., Chikvaizde I., Sidamonidze N., Snesar A. – Composites Based on Epoxy Resin and Rubber Waste	79 81
კიკნაძე ნ., დავითაძე ლ., თავდგირიძე გ., კუჭავა მ., გოგიტიძე თ. – ახალი თაობის სასუქის „ლეონარდიტის“ გავლენა ნითელმინა ნიადაგის და მანდარინ „უნშიუს“ ქიმიურ შემადგენლობაზე Kiknadze N., Davitadze L., Tavdgiridze G., Kuchava M., Gogitidze T. – The Effect of the New Generation Fertilizer "Leonardite" on the Chemical Composition of Red Soil and Mandarin "Unshiu"	82 87
კვარაცხელია დ., დემეტრაშვილი დ. – შავი ზღვის ზედა ტურბულენტურ ფენაში ტემპერატურის ველის სანყის პირობებზე მგრძნობელობის რიცხვითი გამოკვლევა ზღვის დინამიკის რიცხვითი მოდელის გამოყენებით Kvaratskhelia D., Demetrashvili D. – Numerical Investigation of Sensitivity of the Temperature Field to Initial Conditions in the Upper Turbulent Layer of the Black Sea Using the Numerical Model of the Sea Dynamics	88 91
დემეტრაშვილი დ. – მონიტორინგისა და მოკლევადიანი პროგნოზის სისტემები ევროპის ზღვებისათვის Demetrashvili D. – Monitoring and Short-Term Forecasting Systems for European Seas	92 95
Tatishvili M., Kapanadze N., Mkurnalidze I., Palavandishvili A. – Drought Evaluation in Georgia using SPI and SpEI Indices	96
Bliadze T. – Statistical Analysis of the Weekly Fire Alerts Count in Georgia and its Regions in 2012-2023	101
Bliadze T., Chkhitunidze M., Kirkitadze D. – Statistical Characteristics of Mean Monthly and Annual Concentrations of <i>Particulate Matter</i> PM2.5 and PM10 in Tbilisi in 2017-2023	105
სურმავა ა., კუხალაშვილი ვ., გიგაური ნ., ინკირველი ლ. – ქ. ქუთაისის ატმოსფეროში შტილის დროს გაფრქვეული PM10-ის კონცენტრაციის დროსა და სივრცეში ცვლილების რიცხვითი მოდელირება Surmava A., Kukhalashvili V., Gigauri N., Intskirveli L. – Numerical Modeling of Changes in Time and Space of the Concentration of PM10 Dispersed in the Atmosphere of Kutaisi City During Calm	109 112
Matiashvili S., Chanqseliani Z. – Soil Pollution in the Vicinity of Automobile Workshops, Near Populated Areas Across Tbilisi	113
Takadze G., Larry D., Wascak J. – Harnessing HAVOK and Machine Learning for Cosmic Ray Forecasting	117
უჩანეიშვილი ს., კალმახელიძე ს., ავალიშვილი ა., ივანიშვილი ნ., გოგებაშვილი მ. – მაიონიზებული რადიაციის ზემოქმედებით გამოწვეული კოგნიტური პარამეტრების ცვლილებების ასტრობიოლოგიური ასპექტები Uchaneishvili S., Kalmakhelidze S., Avalishvili A., Ivanishvili N., Gogebashvili M. – Astrobiological Aspects of Ionizing Radiation-Induced Cognitive Impairments	121 123
სეფერთელაძე ზ., დავითაია ე., ალექსიძე თ., რუხაძე ნ. – ფიზიკურ-გეოგრაფიული ფაქტორების როლი გულ-სისხლ-ძარღვთა დაავადებების სივრცე-დროით გავრცელებაში Seperteladze Z., Davitaia E., Aleksidze T., Rukhadze N. – The role of Physical-Geographical Factors in the Spatio-Temporal Distribution of Cardiovascular Diseases	124 128
Japaridze N., Khazaradze K., Chkhitunidze M., Revishvili A. – Variability of the Birth, Death and Population Growth Rates in Georgia in 1994-2023	129
Japaridze N., Kartvelishvili L., Khazaradze K., Chkhitunidze M., Nikolaishvili M., Revishvili A. – Statistical Characteristics of the Daily Values of Air Effective Temperature According to Misenard in Batumi	133
Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Matzarakis A. – The Interval Forecasting of the Holiday Climate Index in Tsalka (Georgia) to 2026-2035	137
ვარამაშვილი ნ., ფიფია მ. – თსუ, მ. ნოდინას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტისა და სტუ, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის ერთობლივი სამუშაოს მოკლე მიმოხილვა	141



ბოლო ხუთი წლის განმავლობაში	
Varamashvili N., Pipia M. – A Brief Overview of the Joint Works of the M. Nodia Institute of Geophysics, TSU and Institute of Hydrometeorology, GTU in the Last Five Years	144
Amiranashvili A. – Analysis of Variability of Mean Annual Air Temperature in Tbilisi in 1844-2023 Against the Background of Climate Change	145
Bolashvili N., Chikhladze V., Kartvelishvili L., Tatishvili M. – Variability of Atmospheric Precipitation in Tbilisi in 1844-2023	150
Amiranashvili A., Brocca L., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Varamashvili N. – Analysis of the Precipitation Regime that Triggered the Landslide in Nergeeti (Imereti, Georgia) on February 7, 2024	155
Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Varamashvili N. – Comparison of Satellite and Ground-Based Data on Semi-Annual and Annual Sum of Atmospheric Precipitation for 26 Points in Georgia in 2001-2020	159
Beglarashvili N., Jamrlishvili N., Janelidze I., Pipia M., Tavidashvili Kh. – Some Results of Analysis of Heavy Precipitation in Tbilisi on July 7, 2024 Based on Ground-Level and Satellite Measurements	164
Amiranashvili A., Chikhladze V., Kekenadze E., Pipia M., Samkharadze I., Telia Sh., Varamashvili N. – Meteorological Conditions for the Tornado Formation in Kakheti (Georgia) on June 25, 2024	168
Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V. – Experimental Modeling of Atmospheric Processes in the Large Cloud Chamber of the M. Nodia Institute of Geophysics, TSU. Past, Present, Development Prospects.	172
ჩიხლაძე ვ., ქართველიშვილი ლ. – ირიბი წვიმის მარეგისტრირებელი ხელსაწყოს გამოცდა თერმობაროკამერაში	176
Chikhladze V., Kartvelishvili L. – Testing the “Slanting Rain” Recorder in a Thermobaric Chamber	178
Prus B., Baciór S. – Good Practices of Landslide Hazard Monitoring as a Support for Sustainable Space Development – Examples from Poland	179
ბაქრაძე თ., ლლონტი ნ., ერქომაიშვილი ტ., დემურიშვილი ზ., თაყაძე გ., ბარბაქაძე პ., გოგუა რ., ალანია ე. – კოსმოსური სხივების მოდულაციური ეფექტები მზის აქტივობებთან კავშირში	183
Bakradze T., Glonti N., Erkomaishvili T., Demurishvili Z., Takadze G., Barbakadze P., Gogua R., Alania E. – Modulating Effects of Cosmic Rays on Solar Activities	188

დამკაბადონებელი ლალი კურდღელაშვილი  
გარეკანის დიზაინერი მარიამ ებრალიძე

Typesetter Lali Kurdghelashvili  
Cover Designer Mariam Ebralidze

0128 თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზირი 1  
1, Ilia Tchavtchavadze Ave., Tbilisi 0128  
Tel 995(32) 225 04 84, 6284/6279  
<https://www.tsu.ge/ka/publishing-house>

1000