

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია
„დადავიანსა და მის გარსებში მიმდინარე გეოფიზიკური პროცესები“
ექვსეუბა ივანე ჯავახიშვილის სახელობის
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის 90 წლისთავს

შრომები

თბილისი, საქართველო, 16-17 ნოემბერი, 2023 წ.



Ivane Javakishvili Tbilisi State University
Mikheil Nodia Institute of Geophysics

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
"GEOPHYSICAL PROCESSES IN THE EARTH AND ITS ENVELOPES"
DEDICATED TO 90-TH ANNIVERSARY OF
MIKHEIL NODIA INSTITUTE OF GEOPHYSICS
OF IVANE JAVAKHISHVILI TBILISI STATE UNIVERSITY

PROCEEDINGS

Tbilisi, Georgia, November 16-17, 2023

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი
IVANE JAVAKHISHVILI TBILISI STATE UNIVERSITY
MIKHEIL NODIA INSTITUTE OF GEOPHYSICS

საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია

„დედამიწასა და მის გარსებში მიმდინარე გეოფიზიკური პროცესები“

ედღვნება ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის 90 წლისთავს

თბილისი, საქართველო, 16-17 ნოემბერი, 2023 წ.

შრომები

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

"Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes"

Dedicated to 90-th Anniversary of Mikheil Nodia Institute of Geophysics
of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University

Tbilisi, Georgia, November 16-17, 2023

Proceedings



უნივერსიტეტის
გამომცემლობა

თბილისი - 2023 - Tbilisi

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; თენგიზ ცინცაძე: სამეცნიერო კომიტეტის თანათავმჯდომარე - სტუ, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, საქართველო; ავთანდილ ამირანაშვილი (მთავარი რედაქტორის მოადგილე), ნუგზარ ღლონტი, გიორგი მელიქაძე – თსუ, მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი, საქართველო; ლიანა ქართველიშვილი - გარემოს ეროვნული სააგენტო, საქართველო; მარია ტატიშვილი - სტუ, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, საქართველო; მაგდა დავითაშვილი - ი. გოგებაშვილის სახელობის თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, 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; ისტვან ფორიზსი - გეოლოგიური და გეოქიმიური კვლევების ინსტიტუტი, უნგრეთი; სერგეი სტანკევიჩი – უკრაინის მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის დედამიწის კვლევის აეროკოსმოსური სამეცნიერო ცენტრი, უკრაინა; 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, Vakhushti Bagrationi Institute of Geography, Georgia; **Tengiz Tsintsadze:** 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** - GTU, Institute of Hydrometeorology, Georgia; **Magda Davitashvili** – I. Gogebashvili Telavi State University, 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 Stankevich** – Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth, National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine; **Sergey Nazaretyan** - Regional Survey for Seismic Protection, Ministry of Internal Affairs of the Republic of Armenia, Armenia.

საორგანიზაციო კომიტეტი

მიხეილ ფიფია: საორგანიზაციო კომიტეტის ხელმძღვანელი, მანანა ნიკოლაიშვილი: საორგანიზაციო კომიტეტის ხელმძღვანელის მოადგილე; სოფიკო მათიაშვილი, ზამირა არზიანი, 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

Mikheil Pipia: Chairman of Organizing Committee; **Manana Nikolaishvili** – Deputy Chairman of Organizing Committee; **Sophiko Matiashvili, Zamira Arziani, 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.

მასალებში დაცულია ავტორების სტილი.

In the proceedings the authors' style is retained.

© ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2023
Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, 2023

ISBN 978-9941-36-147-0

გეოფიზიკის ინსტიტუტი 90 წლისაა

ჭელიძე თ., ვარამაშვილი ნ., ღლონტი ნ., დარახველიძე ლ.

მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
tamaz.chelidze@gmail.com

ანოტაცია. 1933 წლის 1 ნოემბერს საქართველოს მთავრობის დადგენილებით დაარსდა სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ამიერკავკასიის ფილიალის საქართველოს განყოფილების გეოფიზიკური ინსტიტუტი. ამჟამად ეს არის ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის პროფესორ მიხეილ ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი. სტატიაში წარმოდგენილია ინსტიტუტის მოკლე ისტორია.

საკვანძო სიტყვები: ინსტიტუტი, გეოფიზიკა, გარემო.

90 წლის წინ, 1933 წლის 1 ნოემბერს საქართველოს მთავრობის დადგენილებით დაარსდა სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ამიერკავკასიის ფილიალის საქართველოს განყოფილების გეოფიზიკური ინსტიტუტი. ამჟამად ეს არის ივანე ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი. გეოფიზიკის ინსტიტუტი დაარსდა თბილისის გეოფიზიკური ობსერვატორიის ბაზაზე, გეოფიზიკური ინსტიტუტის დაარსების ინიციატორები იყვნენ: აკად. ნ. მუსხელიშვილი, ყოფილი სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის სეისმოლოგიური ინსტიტუტის დირექტორი, აკადემიის წევრ-კორ. პ. ნიკიფოროვი, პროფ. მ. ნოდია, ფიზ.-მათ. მეცნ. კანდიდატი სეისმოლოგი ალ. ცხაკაია და პროფ. ევგ. ბიუსი. უნდა აღინიშნოს, რომ გეოფიზიკის ინსტიტუტის შექმნის და შემდგომ მისი მუშაობის ძირითადი წარმმართველი პროფ. მ. ნოდია იყო. პროფ. პ. ნიკიფოროვი აღნიშნავდა, რომ პროფ. მ. ნოდია არის ინსტიტუტის დაარსების ერთ-ერთი ინიციატორი და ორგანიზატორი. აკად. ნ. მუსხელიშვილი თვლიდა, რომ „პროფ. მ. ნოდია „თავის მხრებზე გადაიტანა გეოფიზიკის ინსტიტუტის შექმნის ყველა სიმძლეეები“. ბატონ მიხეილ ნოდის დამსახურებაა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტზე 1933 წელს გეოფიზიკის კათედრის დაარსება.

1933 წლის 22 სექტემბერს ჩატარდა საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის ამიერკავკასიის ფილიალის პრეზიდიუმის სხდომა. სხდომის წევრები გაეცნენ დადგენილებას სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ამიერკავკასიის ფილიალის საქართველოს განყოფილების შექმნის შესახებ და იმ საორგანიზაციო საკითხებს, რომლებიც ხელს შეუწყობდა გეოფიზიკური ინსტიტუტის დაარსებას, პირველ რიგში ეს იყო საქართველოს ბუნებრივი რესურსების შესწავლა გეოფიზიკური გამოკვლევებით. მეცნიერებათა აკადემიას მიაჩნდა, რომ გეოფიზიკურ სამუშაოებს უხელმძღვანელებდა პროფ. პ. ნიკიფოროვი, თეორიულ გეოფიზიკას - პროფ. ნ. მუსხელიშვილი, ექსპერიმენტალურ გეოფიზიკას - პროფ. მ. ნოდია. სეისმურ სამსახურზე ხელმძღვანელობა დაევალა პროფ. ე. ბიუსს. მნიშვნელოვან სამსახურს გაუწევდა აკადემიას ახალგაზრდა მეცნიერი-ენთუზიასტი ა. ცხაკაია.

ინსტიტუტის დაარსებასა და მრავალი ახალი დარგის დანერგვა-განვითარებას ესაჭიროებდა სათანადო კადრების მომზადება. ამ მიზნით 1931 წელს პროფ. პ. ნიკიფოროვისა და პროფ. მ. ნოდის ინიციატივით ქ. ლენინგრადის სეისმოლოგიურ ინსტიტუტში შეიქმნა დაჩქარებული ასპირანტურა, სადაც სამივე გეოფიზიკის დარგში კადრების მოსამზადებლად ობსერვატორიამ მიავლინა ახალგაზრდა მეცნიერები გ. თვალთვაძე, ბ. ბალავაძე, ვ. ქებულაძე, ალ. ბუხნიკაშვილი, მ. აბაკელია, ალ. ცხაკაია და სხვ. ასპირანტების ხელმძღვანელობა დაევალათ გამოჩენილ გეოფიზიკოსებს: პროფ. პ. ნიკიფოროვს, პროფ. ა. პეტროვსკის, პროფ. მ. სადოვსკის, პროფ. ე. კორიდალინს, პროფ. დ. კირნოსს, პროფ. დ. ხარინს და სხვებს. გეოფიზიკური ინსტიტუტის ორგანიზებაში ამ ასპირანტებმა მნიშვნელოვანი როლი შეასრულეს,

ასპირანტურის დამთავრების შემდეგ კი სათავეში ჩაუდგნენ ინსტიტუტის სამეცნიერო კვლევით მუშაობას სხვადასხვა დარგში და წარმოადგინდნენ ინსტიტუტის წამყვან მეცნიერთა ძირითად ბირთვს.

1933 წლის 26 ოქტომბერს ჩატარდა სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ამიერკავკასიის ფილიალის პრეზიდიუმის და საქართველოს განყოფილების სხდომა. მომხსენებელმა პროფ. პ. ნიკიფოროვი ისაუბრა გეოფიზიკური ინსტიტუტის სამეცნიერო საქმიანობის პერსპექტიულ გეგმებზე და წარმოადგინა დასამტკიცებლად ინსტიტუტის შემდეგი სტრუქტურა: 1. თეორიული მათემატიკური გეოფიზიკის განყოფილება (პროფ. ნ. მუსხელიშვილი); 2. ექსპერიმენტული გეოფიზიკური განყოფილება ელექტრომეტრიის, გრავიმეტრიის და სეისმომეტრიის სექციებით (პროფ. მ. ნოდია); 3. სეისმური სამსახურის განყოფილება, სეისმური სადგურების ქსელით (პროფ. ე. ბიუსი). ინსტიტუტის დირექტორად დამტკიცდა სსრკ მეცნ, აკადემიის წევრ-კორ. პ. ნიკიფოროვი, დირექტორის მოადგილეებად პროფ. ნ. მუსხელიშვილი და პროფ. მ. ნოდია, ხოლო სწავლულ მდივნად - ა. ცხაკაია.

გეოფიზიკური ინსტიტუტის ამოცანები იმთავითვე განისაზღვრებოდა სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის გაშლით დედამიწის ფიზიკის დარგში, რაც მიზნად ისახავდა სახალხო მეურნეობის მიწ-რალურ-წედლეული ბაზის გაფართოებას და ტერიტორიის სეისმური პირობების შესწავლას, მიმდინარეობდა კვლევები ელექტრომეტრიული მეთოდების დასამუშავებლად. საქართველოს ტერიტორიაზე ჩატარდა სიმძიმის ძალის განსაზღვრა. ინსტიტუტში ყველაზე ხანგრძლივი ტრადიციები ჰქონდა გეომაგნიტურ კვლევებს. აქ ფასდაუდებელი წვლილი ეკუთვნის ბატონ მიხეილ ნოდიას. 1938 წელს პროფ. პ. ნიკიფოროვი დირექტორის თანამდებობაზე შეცვალა პროფ. მ. ნოდია. 1939 წელს ინსტიტუტის თეორიული განყოფილება შეუერთდა ახლად დაარსებულ მათემატიკურ ინსტიტუტს. 1939 წელს ინსტიტუტში აკად. კ. ზავრიევის ხელმძღვანელობით დაარსდა ანტისეისმური მშენებლობის რესპუბლიკური ბიურო, რომელიც 1941 წლიდან გამოეყო ინსტიტუტს.

1936 წლიდან გაიხსნა ატმოსფეროს ფიზიკის განყოფილება, რომელმაც სწრაფად განავითარა მავნე მეტეოროლოგიურ მოვლენებზე ხელოვნური ზემოქმედების მეთოდების დამუშავება. დიდი ყურადღება ეთმობოდა კლიმატოლოგიის საკითხებს, ამიერკავკასიისა და საქართველოს ტერიტორიის სინოპტიკურ - მეტეოროლოგიურ პირობების კვლევას. 1941 წელს გეოფიზიკის ინსტიტუტის ბაზაზე დაარსდა ფიზიკისა და გეოფიზიკის ინსტიტუტი. (დირექტორები პროფ. მ. ნოდია, შემდეგ აკად. მ. მირიანაშვილი)

1950 წლის მთავრობის დადგენილების საფუძველზე ფიზიკისა და გეოფიზიკის ინსტიტუტი 1 დეკემბრიდან გაიყო ორ ინსტიტუტად: ფიზიკის ინსტიტუტად და გეოფიზიკის ინსტიტუტად. 1950 წელს ინსტიტუტის დირექტორად დაინიშნა ბ. ბალავაძე, 1953 წელს ბ. ბალავაძის დოქტორანტურაში სწავლის მიზნით ქ. მოსკოვში გამგზავრებასთან დაკავშირებით, ინსტიტუტის დირექტორად დაინიშნა პროფ. ალ. ბუხნიკაშვილი, რომელიც ინსტიტუტს ხელმძღვანელობდა 1972 წლამდე.

1956 წელს ინსტიტუტს გადმოეცა დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორია (შემდეგ გეოფიზიკური ობსერვატორია) და თბილისის კოსმოსური სხივების სადგური (ვ. ქოიავა). ორივე ბაზები თავისი აღჭურვილობით და დაკვირვებების დონით ყოველთვის ითვლებოდნენ მსოფლიო მნიშვნელობის ცენტრებად. ინსტიტუტი განუწყვეტლივ აფართოებდა და აღრმავებდა სამეცნიერო-კვლევით სამუშაოებს, ინსტიტუტი ჩადგა მოწინავე გეოფიზიკური დარგის ინსტიტუტების რიგებში.

1957 წელს ინსტიტუტში შეიქმნა ალაზნის სექციის საწინააღმდეგო ბაზა სოფელ რუისპირში სტაციონარული ექსპედიციის სახით, ხოლო 1961 წელს საქართველოს სოფლის მეურნეობის სამინისტროსთან - სექციასთან ბრძოლის სამსახური (ა. ქარცივაძე). დაარსდა დედამიწის მაგნეტიზმის, მიწისძვრების ფიზიკის, რადიომეტრიის, ქანების ფიზიკის, ღრუბლების ფიზიკის და აქტიური ზემოქმედების განყოფილებები. 1963 წლიდან 1990 წლამდე ინსტიტუტში ფუნქციონირებდა სეისმურ დაკვირვებათა ერთიანი ქსელის კავკასიის ზონალური ცენტრი, რომელიც კოორდინაციას უწევდა კავკასიაში მომხდარ მიწისძვრებს, „კავკასიის სეისმოლოგიური ბიულეტენის“ გამოცემას. 1964 წელს ამოქმედდა ინსტიტუტის მთაწმინდის დედამიწის მიმოქცევების შემსწავლელი მიწისქვეშა ლაბორატორია (დედამიწის მიმოქცევების ობსერვატორია „თბილისი“). ობსერვატორია წარმოადგენდა სოციალისტური ქვეყნების საერთაშორისო ცენტრს დახრისმზომითი დაკვირვებების უნიფიცირების ხაზით, მწყობრში ჩადგა ექსპერიმენტული კომპლექსი ატმოსფეროს ფიზიკაში - თერმობაროკამერა, რომელშიც ხორციელდება ატმოსფერული პროცესების მოდელირება, თავისი სიმძლავრით და შესაძლებლობებით ერთადერთი ყოფილ სსრკ ტერიტორიაზე.

1969 წელს სსრკ სახელმწიფო პრემია მეცნიერებასა და ტექნიკის დარგში მიენიჭა სამუშაოს „სეტყვის საწინააღმდეგო რაკეტებისა და ჭურვების გამოყენებით სეტყვასთან ბრძოლის მეთოდებისა და საშუალებების დამუშავება და დანერგვა“ (ა. ბუხნიკაშვილი, ა. ქარცივაძე). 1969 წლიდან აკად. ბ. ბალავაძის ინიციატივით დაარსდა დედამიწის ქერქის ნელი მოძრაობების შემსწავლელი ლაბორატორია (განყოფილება), რომელსაც ევალეზოდა მსხვილ საინჟინრო ნაგებობების მშენებლობათა რაიონებში (ენგურჰესის რაიონი) დედამიწის ქერქის დეფორმაციების შესწავლა. ენგურის ჰიდროელექტროსადგურის მაღლივი კაშხლის მშენებლობასთან დაკავშირებით, ობიექტის მახლობლობაში ტერიტორიის სეისმური რეჟიმის შესასწავლად გაიხსნა 11 სეისმური სადგური.

1972-87 წლებში ინსტიტუტს ხელმძღვანელობდა აკად. ბ. ბალავაძე. მისი ინიციატივით ინსტიტუტში დაარსდა გამოთვლითი ცენტრი, რისთვისაც აკად. ნ. მუსხელიშვილის სახელობის გამოთვლითი ცენტრიდან მოიწვია პროფ. მ. ალექსიძე თავისი განყოფილებით. ამან განაპირობა ინსტიტუტის მეცნიერული კვლევების უფრო მაღალ დონეზე აყვანა. ინსტიტუტში ფართოდ დაინერგა გამოყენებითი მათემატიკის მეთოდები გეოფიზიკაში, შეიქმნა სამიეზო სისტემები და გეოფიზიკური ველების მონაცემთა ბანკები. აკად. მ. ალექსიძე 1987-1992 წწ. ინსტიტუტს ხელმძღვანელობდა.

1976 წლიდან ქ. თბილისის გარეუბანში ექსპლოატაციაში შევიდა სეისმოლოგიური ობსერვატორია „თბილისი“. 1978 წლიდან ინსტიტუტი ფუნქციონირებს ახალ 12 სართულიან შენობაში. 1978 წლიდან ინსტიტუტში მოქმედებს სპეციალიზირებული, სამეცნიერო ხარისხების მიმნიჭებელი დაცვის საბჭო. 1979-94 წწ. ინსტიტუტში შეიქმნა სარედაქციო-საექსპერტო კომისია. აკად. ბ. ბალავაძის თაოსნობით თბილისის ფიზიკური ობსერვატორიის ძველ შენობაში 1978 წლიდან გაიხსნა საქართველოს გეოფიზიკის ისტორიის მუზეუმი.

1979 წელს, ძლიერი მიწისძვრების პროგნოზის პრობლემებზე სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების გაძლიერების მიზნით, ინსტიტუტთან ჩამოყალიბდა საცდელ-მეთოდური სეისმოლოგიური პარტია, რომელიც „სეისმური მონიტორინგის ცენტრის“ სახელწოდებით 2006 წელს გამოეყო ინსტიტუტს.

1983 წელს, გეოფიზიკის ინსტიტუტის 50 წლისთავთან დაკავშირებით, გეოფიზიკის ინსტიტუტი და ინსტიტუტის 22 თანამშრომელი დაჯილდოვდნენ საქართველოს უმაღლესი საბჭოს პრეზიდიუმის საპატიო სიგელით, გეოლ.-მინ. მეცნ. კანდიდატმა დ. ციციშვილმა მიიღო „საქართველოს დამსახურებული გეოლოგის“ საპატიო წოდება.

1989 წელს ინსტიტუტში დაარსდა „ზღვის დინამიკის“ განყოფილება (ა. კორძაძე), სადაც მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე შეისწავლება ზღვა-ხმელეთი-ატმოსფეროს სისტემაში მიმდინარე ფიზიკური და ეკოლოგიური პროცესები.

საქართველოს რესპუბლიკის 1992 წლის 17 აპრილის დადგენილებით 1992 წლიდან გეოფიზიკის ინსტიტუტს მიეკუთვნა საქართველოში გეოფიზიკური მეცნიერების ფუძემდებლის, პროფესორ მიხეილ ნოდის სახელი.

1992-2006 წლებში ინსტიტუტს ხელმძღვანელობდა აკად. თ. ჭელიძე. აკად. თ. ჭელიძის ინიციატივით: 1995 წლიდან დაარსდა საქართველოს გეოფიზიკური საზოგადოების ინგლისურენოვანი ჟურნალი (სერია ა „დედამიწის ფიზიკა“ და სერია ბ „ატმოსფეროს, ოკენისა და კოსმოსური პლაზმის ფიზიკა“), განახლდა ინსტიტუტის რუსულენოვანი შრომათა კრებულის გამოცემა, დაწესდა აკად. მ. ალექსიძის სახელობის პრემია, პრემია ახალგაზრდა მეცნიერ თანამშრომლებისათვის და სტიპენდია თბილისის ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გეოფიზიკის კათედრის წარმატებული ასპირანტებისა და სტუდენტებისთვის, გამოიძებნა თანხები თანამედროვე გეოფიზიკური აპარატურის და კომპიუტერების შესაძენად, ჩატარდა დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიის მოდერნიზაცია და სხვ.

1994 წელს მეცნიერებისა და ტექნიკის დარგში საქართველოს რესპუბლიკის სახელმწიფო პრემია მიენიჭა ინსტიტუტში 1978-1992 წლებში შესრულებულ შრომათა ციკლს „გეოფიზიკური, გეოლოგიური და საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტის გრავიმეტრიული მეთოდების დამუშავება და რეალიზაცია“ (ბ. ბალავაძე, მ. ალექსიძე, კ.მ. ქართველიშვილი, კ.ზ. ქართველიშვილი, ვ. აბაშიძე, გ. შენგელაია).

1996 წლიდან ევროსაბჭომ საქართველოში დააფუძნა „მაღლივი კაშხლების გეოდინამიკური რისკის“ ცენტრი (თ. ჭელიძე, ვ.აბაშიძე) 2004 წელს გეოფიზიკის ინსტიტუტს ეწოდა საჯარო სამართლის იურიდიული პირი, მიხეილ ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტი დაექვემდებარა საქართველოს განათლებისა

და მეცნიერების სამინისტროს. 2006 წლის 3 ივნისიდან გეოფიზიკის ინსტიტუტის დირექტორად არჩეულია ფიზ.-მათ. მეცნ. აკადემიური დოქტორი ნ. ლლონტი. 2007 წელს ინსტიტუტში აკად. ჯ. ლომინაძის ხელმძღვანელობით კოსმოსური სააგენტოს ბაზაზე ჩამოყალიბდა კოსმოსური კვლევის ცენტრი. დაარსდა ჰიდროგეოფიზიკისა და გეოთერმის კვლევითი ცენტრი (გ. მელიქაძე).

თანახმად საქართველოს მთავრობის 2010 წლის 27 ივლისის დადგენილებისა, გეოფიზიკის ინსტიტუტი 2010 წლიდან ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის შემადგენლობაშია.

ინსტიტუტის პატენტები: 1. დიპლომი 192 აღმოჩენაზე „ორგანულ შიგაკომპლექსურ (ხელატური) ნაერთთა თვისება გამოიწვიოს ატმოსფეროში გადამეტცივებული წყლის სისტემების აქტიური კრისტალიზაცია“. (2002 წ. ა. ქარცივაძე); (ა. ქარცივაძეს 1985 წ. მიღებული აქვს სსრკ მინისტრთა საბჭოს პრემია ეფექტური ქიმიური საშუალებების შექმნასთან დაკავშირებით სასოფლო-სამეურნეო კულტურების სეტყვისაგან დასაცავად); 2. გამოგონებაზე „მაგმატოგენური და სედიმენტოგენური სასარგებლო წიაღისეულის საბადოებზე პერსპექტიული რეგიონების ძიების ხერხი“. (1998 წ. გ. გუგუნავა და ნ. გუგუნავა-ჩიქოვანი); 3. გამოგონებაზე „მაიონიზებელი გამოსხივების პროპორციული მთვლელის ელექტრონული ინტერფეისი“. (2003 წ. ნ. ლლონტი, ზ. დემურიშვილი, ნ. ნაჭყებია, ირ. ტუსკია და დ. ბოჩიკაშვილი); 4. საავტორო მოწმობა „დედამიწის შინაგანი აგებულებისა და ძირითადი ფიზიკური პარამეტრების სიღრმული განაწილების სისტემაში მოყვანილი სადემონსტრაციო მაკეტის მოდელი (1994 წ. გ. შენგელაია).

სხვადასხვა ჯილდოები:

2009 წლის 30 ოქტომბერს საქართველოს ეროვნულმა აკადემიამ პროფ. მიხეილ ნოდისას სახელობის პრემიით დააჯილდოვა აკად. თ. ჭელიძე, პროფ. თ. მაჭარაშვილი და მეცნ. დოქტორი ო. ლურსმანაშვილი ნაშრომთა ციკლისათვის „არაწრფივი დინამიკის მეთოდების გამოყენება სეისმოლოგიის პრობლემების გადასაწყვეტად“. 2012 წელს პროფ. მიხეილ ნოდისას სახ. პრემიით დაჯილდოვდნენ პროფ. ა. კორმაძე და მეცნ. დოქტორი დ. დემეტრაშვილი შრომათა ციკლისათვის „შავ ზღვაში მიმდინარე ჰიდროდინამიკური პროცესების მათემატიკური მოდელირება და მის საფუძველზე შავი ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილის მდგომარეობის ოპერატიული პროგნოზული სისტემის შემუშავება“.

აკადემიურ დოქტორს ნ. ლლონტს მინიჭებული აქვს საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის პრეზიდენტის პრემია. ბოლო წლებში თემაზე „საქართველოს კლიმატის ცვლილებები“ გამოქვეყნებული სამეცნიერო ნაშრომებისათვის 2009 წელს საქართველოს ეროვნული პრემიის ლაურეატის დიპლომი გადაეცა მეცნ. დოქტ. ავთ. ამირანაშვილს. მონოგრაფიისათვის „ელიზბარ მინდელი“ 2001 წელს მეცნ. დოქტორს პ. მინდელს გადაეცა საქართველოს მეცნ. აკადემიის წევრ/კორ. ელიზბარ მინდელის სახელობის პრემია. ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ივანე ჯავახიშვილის მედალი მიღებული აქვთ: აკად. თ. ჭელიძეს, პროფ. ა. კორმაძეს, მეცნ. დოქტ. ვ.ზ. ქართველიშვილს, პროფ. შ. ადამიას.

საქართველოს ღირსების ორდენით დაჯილდოვდნენ: აკად. ბ. ბალავაძე, აკად. თ. ჭელიძე, ი. აივაზიშვილი, ლ. შათაშვილი, დ. სიხარულიძე, გ. შენგელაია, ე. ჯიბლაძე, ვ. აბაშიძე, თ. მაჭარაშვილი, ა. გველეისანი, ლ. დარახველიძე. ღირსების მედლით დაჯილდოვდნენ ა. ახალბედაშვილი, ო. ვარაზნაშვილი, ვ. პაპალაშვილი და ზ. ჯავახიშვილი. მედლით “За трудовое отличие” და „საქართველოს თავდაცვის სამინისტროს სისტემაში უმწიკვლო სამსახურისთვის“ მე-3 ხარისხის მედლით დაჯილდოვდა ა. ამირანაშვილი.

2013 წელს აკად. თ.ჭელიძე არჩეულია თბილისის საპატო მოქალაქედ, პროფ. ვ. აბაშიძე - ქალაქ ხარაგოულის საპატო მოქალაქედ.

საქართველოს მეცნიერების დამსახურებული მოღვაწის წოდება მიღებული ჰქონდათ: პროფესორებს: მ. ნოდისა-1944 წ., ე. ბიუსს-1946 წ., ა. ბალაბუევს-1961 წ., ბ. ბალავაძეს-1961წ., გ. თვალთვაძეს -1967წ., ა. ბუნნიკაშვილს -1969 წ. ლენინის ორდენით იყვნენ დაჯილდოვებულნი: ე. ბიუსი, ა. ბალაბუევი, მ. ნოდია, ა. ქარცივაძე, გ. თვალთვაძე.

ინსტიტუტის არსებობის მანძილზე გამოქვეყნებულია 400 წიგნი: მათ შორის ინსტიტუტის შრომების 75 ტომი, საქართველოს გეოფიზიკური საზოგადოების ჟურნალები (სერია ა) -19 ტომი, (სერია ბ) -16 ტომი, (ელექტრონული ვერსია), 88 მონოგრაფია, 14 სახელმძღვანელო, 12 კრებული, 48 ბიულეტენი, 17 ბიბლიოგრაფია, 1 ტერმინოლოგია, ატლასები, რუკები, ბროშურები და სხვ. დაცულია 230 დისერტაცია, მათ შორის 39- სადოქტორო, 182 - საკანდიდატო, 6 - აკადემიური დოქტორის.

ინსტიტუტის სტრუქტურა: გამოყენებითი და ექსპერიმენტული გეოფიზიკის სექტორი (აკად. თ. ჭელიძე); გეოფიზიკური ველების დინამიკისა და გამოთვლითი გეოფიზიკის სექტ. (პროფ. თ. მაჭარაშვილი); სეისმოლოგიის, სეისმური საშიშროების და კატასტროფების რისკის სექტ. (აკადემიური დოქტ. ნ. წერეთელი); ატმოსფეროს ფიზიკის სექტ. (მეცნ. დოქტ.ა. ამირანაშვილი); დედამიწის ფიზიკის და გეომაგნეტიზმის სექტ. (პროფ. თ. ქირია); ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკური მოდელირების სექტ. (მეცნ. დოქტ. დ. დემეტრაშვილი); კოსმოსური კვლევის ცენტრი (აკადემიური დოქტ. დ. ზილფიმიანი); კოსმოფიზიკური ობსერვატორია (აკადემიური დოქტ. თ. ბაქრაძე); ჰიდროგეოფიზიკისა და გეოთერმის კვლევის ცენტრი (მეცნ. დოქტ. გ. მელიქაძე); დუშეთის გეოფიზიკური ობსერვატორია (აკადემიური დოქტ. რ. გოგუა).

ინსტიტუტი აგრძელებს მეცნიერულ კვლევებს შემდეგი მიმართულებებით: სეისმოდარაიონება, მიწისძვრების წინამორბედთა კვლევა, მავნე მეტეოროლოგიურ მოვლენებზე აქტიური ზემოქმედება, საძიებო და საინჟინრო გეოფიზიკური მეთოდების სრულყოფა, მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე ატმოსფეროსა და შავ ზღვაში ჰიდროთერმოდინამიკური და ეკოლოგიური პროცესების შესწავლა მონიტორინგის განხორციელების გზით და მათი პროგნოზირება, კოსმოსური სივრცისა და მზე-დედამიწის კავშირების კვლევა, ეკოლოგიური გეოფიზიკა, არქეოგეოფიზიკური კვლევები, ჰიდროგეოფიზიკური კვლევები.

ინსტიტუტში 149 თანამშრომელია, მათ შორის: 71 - სამეცნიერო პერსონალი, 11 - მეცნიერებათა დოქტორი (მათ შორის 2 - აკადემიკოსი 2 - პროფესორი), 30 -აკადემიური დოქტორი, (მათ შორის 1 - პროფესორი). საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის ნამდვილი წევრებად არჩეულნი არიან: წ/კორ.. ბ. ბალავაძე (1974 წ.), აწ/კორ. მ. ალექსიძე (1988 წ.), და 22013 წ. წელს ე/კორ. თ. ჭელიძე და წ/კორ. გ. ჩაგელიშვილი.

2023 წლის 12 ივლისიდან გეოფიზიკის ინსტიტუტის დირექტორად არჩეულია აკადემიური დოქტორი ნ. ვარამაშვილი, დირექტორის მოადგილეებია: სამეცნიერო დარგში პროფ. ჯ. ქირია, საფინანსო-სამეურნეო დარგში - აკადემიური დოქტორი ნ. ღლონტი. სამეცნიერო საბჭოს თავმჯდომარეა - აკად. თ. ჭელიძე, ხოლო მდივანი - აკადემიური დოქტორი დ. კირკიტაძე.

ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის პროფ. მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის მისამართია: თბილისი, მ. ალექსიძის ქ. №1.

ლიტერატურა

- [1] Бухникашвили А.В. Геофизика в Грузии. // Труды Ин-та геофизики, т. 26, 1957, с. 3-31.
- [2] ზუხნივაშვილი ა. გეოფიზიკა საქართველოში. // ხელნაწერი. გეოფიზიკის ინ-ს ფონდები, 1964-65 წწ.
- [3] Институт геофизики-50. //Тбилиси, «Мецნიერება»,1983, 143 с.
- [4] მანია მ. თბილისის გეოფიზიკური ობსერვატორია. 2010, 191 გვ.
- [5] Челидзе Т.Л., Даракхвелидзе Л.К. Институт геофизики им. М.З. Нодиа. (К 80 годовщине со дня основания). // Труды Ин-та геоф. т. 64, 2013, с. 3-15.
- [6] საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის საარქივო მასალები გეოფიზიკის ინსტიტუტის დაარსების შესახებ.

INSTITUTE OF GEOPHYSICS - 90 YEARS

Chelidze T., Varamashvili N., Ghlonti N., Darakhvelidze L.

Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
tamaz.chelidze@gmail.com

Abstract: On November 1, 1933, by a decree of the Government of Georgia, based on the decision of the Presidium of the Academy of Sciences of the former USSR, the Geophysical Institute was established as part of the Georgian Branch of the Transcaucasian Branch of the USSR Academy of Sciences, now the M. Nodia Institute of Geophysics of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University. The article gives a brief history of the Institute.

Keywords: institute, geophysics, environment.

REVIEW OF PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ASSESSMENT IN GEORGIA - MAIN CHALLENGES

Tsereteli N., Varazanashvili O.

*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
nino_tsereteli@tsu.ge*

Abstract: Review of probabilistic seismic hazard assessment in Georgia with discussion on main challenges are presented.

Key words: Seismic hazard, seismogenic source model

Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) was the subject of several investigations for the Caucasus in different regional and national projects. All obtained results of PSH estimated on new approaches show different results. Sometimes differences between newly calculated results are not significant, though sometimes differences become substantial.

We analyzed the main reasons for the existing significant differences to understand how sensitive PSHA results are to input data and calculation methodology. Input data actually is the main challenge that provides the main differences in PSHA. Sometimes it is due to subjective judgment during evaluation inputs, like seismogenic source models as well as in the interpretation of limited data.

Sometimes it is due to different methodologies for estimating seismic parameters – recurrence parameters b and a value. Different results are obtained due to different selected ground motion prediction equations as well as using different PSHA assessments. To reduce epistemic uncertainty is possible through the incorporation of alternative models in a logic tree structure and associated weighting.

The most vulnerable issue that influences PSHA results is unavailable national data that cannot be taken into account even in logic tree structure. Work presented here shows an updated national map of Georgia with the updating of the regionally harmonized datasets (i.e. earthquake catalogs, area seismic sources) with focus on data collected in recent years.

SITE CHARACTERIZATION FOR CRITICAL INFRASTRUCTURE

Shubladze T., Tsereteli N., Tugushi N.

*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
nino_tsereteli@tsu.ge*

Abstract: Using the H/V spectral ratio method, various regions of Georgia were studied and the dominant frequencies characterizing each region were assessed.

Key words: seismic hazard, seismograph, H/V spectral ratio method.

Georgia, like the whole South Caucasus, is a tectonically and structurally complex region. It is one of the most active segments of the Alpine-Himalayan belt, therefore it is important to assess the seismic hazard for Georgia. At the regional scale, this assessment is evaluated by applying probabilistic seismic hazard analysis that identifies the annual probability of exceedance of various ground – motion levels defined in terms of selected ground motion intensity measures, such as PGA or accelerations corresponding to various return periods related to possible future earthquake scenarios for a site represented by soil classes A according to EC8, Eurocode 8-EN 1998-1 (1998).

At the local scale, seismic hazard assessment is made by analyzing the geological, geomorphological, geotechnical and geophysical characteristics of the site, as it is well established that the incoming seismic motion can change in amplitude, frequency, and duration due to the site-specific local characteristics. That is the subject of microzonation investigation. Site – specific local characteristics are presented by the following parameters: Dominant frequency, $V_{s,30}$ (averaged shear-wave velocity to a depth of 30 meters) and amplification factor. In this work, we presented results of geophysical survey assessing local seismic conditions by dominant frequency and $V_{s,30}$ for designing and construction of seismically resistant critical infrastructure like hydro power plant in west Georgia and high-rise building in Tbilisi. For this purpose, seismic records have been used for the first time in Georgia.

To study the dynamic characteristics of the ground soil, we used the TROMINO 3G seismograph, TROMINO 3G is a small, ultralight, 6-channel seismograph, which consists of a seismic receiver (sensor) and a digital converter of an analog signal (with the possibility of further data accumulation or transmission). Among the empirical methods, the H/V spectral ratio of ambient noise/vibrations is one of the most common approaches in the world, although it was used for the first time in Georgia by us. With this method, we investigated different regions of Georgia, and evaluated what kind of dominant frequencies each area was characterized by. The conducted studies have shown us that the mountainous region of Georgia is mainly characterized by high resonance frequencies, which emphasizes that the underlying soils are close to the surface, although medium frequencies are also observed on their terraced part.

MAIN CAUSES AND FEATURES OF CHANGE OF SEISMIC HAZARD ASSESSMENTS IN THE TERRITORY OF ARMENIA ACCORDING TO BUILDING CODES

*Nazaretyan S.N., **Mirzoyan L.B., *Nazaretyan S.S., *Poghosyan F.Zh.

**Regional Survey for Seismic Protection. Ministry of Internal Affairs of the Republic of Armenia, Yerevan, Armenia*

*** Yerevan State University, Yerevan, Armenia
snaznssp@mail.ru*

Abstract. 8 maps of the General seismic zoning of the territory of Armenia, compiled in the years 1937-2020, were approved as the norm of earthquake-resistant construction (Building codes). These hazard maps vary in scale and accuracy. Capital construction was designed and implemented in compliance with these Building Codes. Unfortunately, mostly until 1989 the prepared maps underestimated the seismic hazard level of the territory of the republic. This is one of the main reasons for the high seismic risk of the RA territory. The article summarizes the characteristics and dynamics of changes in the level of seismic hazard over time, and highlights the main reasons for the underestimation of the hazard. The most important of those reasons are highlighted: mapping methodology, scarcity and low reliability of baseline data, influence of non-scientific circumstances on map makers.

Keywords. Earthquake, seismic hazard, seismic zonation map.

Introduction

General seismic zonation (GSZ) 5 maps of the Armenian SSR, within the framework of similar normative maps of the USSR territory, was compiled several times, starting from 1937 to 1988. Later, 3 more such maps were compiled only for the territory of RA (Fig. 1). These maps vary in scale and reliability. We will not go into the methods and baseline materials of the maps, because that is a separate big issue. We will try to discuss the dynamics of changes in seismic hazard estimates with GSZ maps over time, considering that the designers of buildings and structures took the value of the seismic hazard level of the object's area from the maps. 1988 Spitak earthquake showed that the seismic hazard of almost the entire territory of the republic was underestimated by all the maps composed before that.

Thus, one of the main reasons for the large-scale destruction and many victims of 1988 Spitak earthquake was the underestimation of the level of seismic hazard in the RA territory [1,2,5]. Immediately after the Spitak earthquake in 1989, for connection with the restoration of the disaster zone, USSR specialists compiled a new deterministic schematic 1:500000 scale map of the seismic hazard of the Armenian SSR territory. According to this map to which the hazard level in 1981 instead of 7 and 8 points on the map, 8 and 9 points were estimated (hereafter earthquake intensity according to EMS-98 scales). At almost the same level of hazard, in 1994, through the efforts of the institutes of the system of the National Academy of Sciences of the Republic of Armenia and Yerevan State University specialists, a schematic deterministic map GSZ was drawn up of the territory of the Republic of Armenia, which in 2004 was included in the Building codes of RA and operated until 2020. According to that schematic map, there were three seismic hazard zones with horizontal acceleration of 0.10g, 0.20g and 0.40g (respectively 7, 8 and 9 and more points of intensity) in the territory of the republic. In 2018 republic and foreign professional organizations consortium was prepared new probable seismic hazard map in 1:500000 scale (Report: "Assessment of probable seismic hazard of the Republic of Armenia". Project # 7179350; Project Manager: A. Karakhanyan), which was approved as a construction norm in 2020. By that map territory of RA separated 4 seismic zones with acceleration from 0.10g to 0.50g (fig. 1). According to experts, this map was made in accordance with international standards [3].

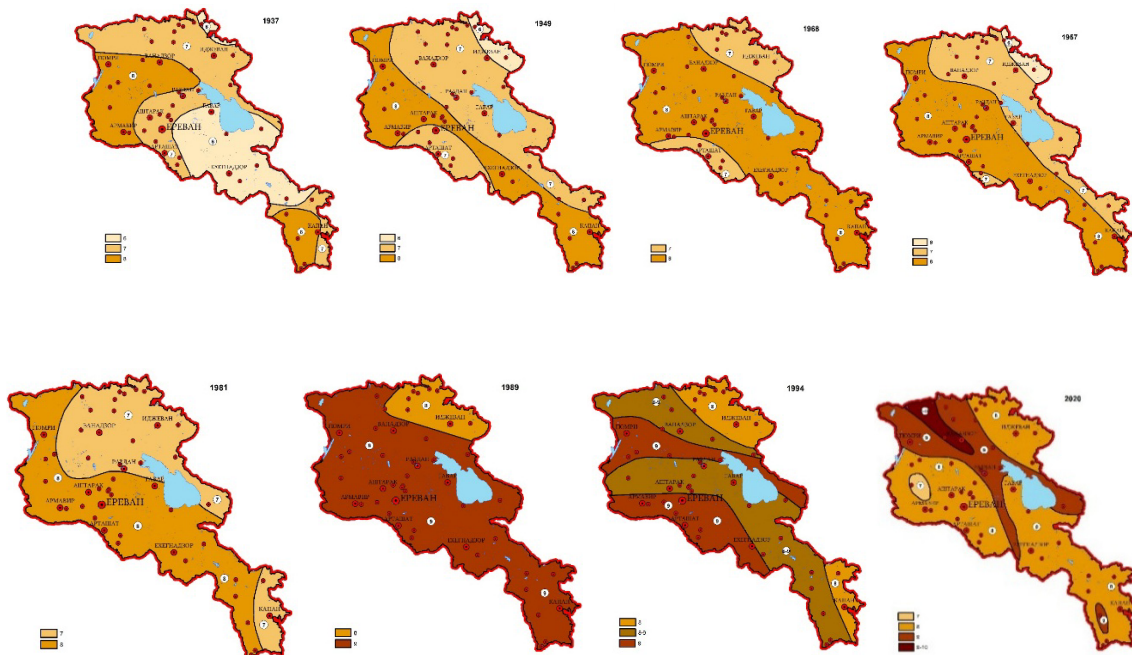


Fig. 1. General seismic zonation normative maps of the territory of Armenia for 1937, 1949, 1957, 1968, 1981, 1989, 1994 and 2020 (scale 1:2500000 to 1:500000). The level of seismic hazard is presented in points according to EMS-98.

1. Dynamics of changes in seismic hazard parameters by GSZ maps

Of two important parameters of seismic zones separated by GSZ maps - location and the maximum level of intensity to be expected in them - are presented in table 1.

Table 1. The area and intensity levels of seismic zones by construction normative GSZ maps (Building codes) of Armenia in 1937-2020.

Year of approval of the norm	The period of validity of the norm (year)	Intensity of seismic hazard zones (by EMS-98) and its area			
		6 points; km ²	7 points; km ²	8 points; km ²	9 points and more; km ²
1937	12	9.1	12.2	8.5	-
1949	8	1.2	17.1	11.5	-
1957	11	1.0	12.9	15.9	-
1968	13	-	5.6	24.2	-
1981	8	-	12.7	17.1	-
1989	5	-	-	3.4	26.4
1994	16	-	15.2	4.7	9.9
2020	-	-	0.8	20.6	8.4

It can be seen from the table that since 1968 with all normative maps, the minimum seismic hazard of RA territory became 7 - 8 points, and the maximum intensity increased 9 or more points. Fortunately, according to 1937-1957 maps, the area covered by 6 units of hazards zones was not large and large-scale capital construction was not carried out in RA in those years [8]. Otherwise, the seismic risk of the RA territory would be higher than it is today. It is also important that the area of the 6 intensity zones was smaller compared to the 7 and 8 zones. Since 1957 the area of intensity zones with 8 units has increased dramatically, at the expense of zones with 7 units.

According to all 3 maps created after the 1988 Spitak earthquake, the maximum level of seismic hazard in the territory of RA was raised to 9 points and more.

Since 1937 till 2020 there was relatively little underestimation of the level of seismic hazard in areas where strong earthquakes occurred in the first half of the 20th century [1,3,5]. For example, in Shirak (1926 Leninakan earthquake) and Syunik (1931 Zangezur earthquake). According to estimates in these areas since 1937, the hazard level was 8 points, because the intensity of the mentioned earthquakes reached 8-9 points and it was impossible not to take this into account when making the GSZ maps of the areas. For the same reason, the underestimation of the seismic hazard in most parts of the Ararat region in 1957 was relatively small and later maps, as experts took into account, the intensity of the strong Dvin earthquakes of the 9th century. In contrast to the mentioned areas, until 1988, the seismic hazard of big part the Lori region, including the vicinity of Spitak city, was severely underestimated (it was estimated at 7 points, the 1988 Spitak earthquake with a intensity of 9-10 occurred). All GSZ maps more weak seismic hazard sone is be considered RA: northeast part -Tavushi region (with intensity 6-8 points).

2. Main reasons of seismic hazard level understatement By GSZ maps

Those reasons are a lot, but let's mention the 3 most important ones: GSZ mapping methodology, scarcity and low reliability of baseline data, influence of non-scientific circumstances on map makers.

Methodological foundations. It should be noted that until 1989 the majority of GSZ mapmakers were based on the geosyncline theory of tectonics [10]. Very few people put the theory of plate tectonics at the base of the seismic zonation. Today, almost all specialists admit that the South Caucasus, including the territory of Armenia, is in the collision between the Arabian and Eurasian plates in the zone, which is due to the strength of earthquakes occurrence [3,4,5].

Active faults. As recently as the 1930s, most experts believed that strong earthquakes were genetically linked to regional (deep) faults. If until the 1970s, geologists distinguished faults in the General Caucasian direction, then based on the data of large-scale and diverse geophysical observations, they began to distinguish faults in the Anti-Caucasian or transverse directions [6]. Unfortunately, the accuracy of their location and critical parameters was low. Uncertainties in important parameters of all regional faults and faults displacement rates were generally evident. To date, there is no unified opinion among specialists about the width and depth of regional fault zones.

Data of activity of faults. Since the beginning of the 1990s, when GPS observation points were installed in RA and neighboring areas, reliable data on horizontal displacements of the earth's crust and individual faults were obtained [4,5,9]. Later, the number of GPS points increased, the accuracy of measurements increased, which became essential for studying the rates and mode of displacements with fractures. Before the advent of GPS data, experts used poor and unreliable neotectonic and geodetic data to document fault displacements. Most geodetic observations dealt with vertical movements [1,3,4].

Estimating the seismic potential of faults. For this purpose, until 1988 the methods of earthquake magnitude estimation based on seismostatistical data and the length of regional faults were mainly used. Other parameters and important features of regional courtyards were almost not taken into account [6,10].

Disadvantages of earthquake catalogs. Different earthquake catalogs were used at different times when compiling the GSZ maps. Until 1962 mapmaking all three types of catalogs: instrumental, historical and prehistoric, objective, and subjective reasons—were compiled on the basis of factually poor data. There has been scant record of strong earthquakes in instrumental and prehistoric catalogs, and the rich written evidence of historical earthquakes in the archives has been little used and the facts more often misinterpreted. As a result, if in 1937 when compiling the GSZ map, the representative magnitude of earthquakes was considered to be 4.5 at best, starting in 1962 it became 3.0 [9,10]. The question of the depth of the hypocenters of weak and moderate earthquakes and the accuracy of the focal mechanism parameters is always a topic of debate, even today. Since 1989 in all 3 types of earthquake catalogs, data enrichment and a certain increase in parameter accuracy were performed.

The impact of non-scientific circumstances on the assessment of the level of seismic hazard in the territory of Armenia. In our opinion, the following circumstances contributed to the underestimation of the seismic hazard:

A/ Before 1989 a unified map of the USSR GSZ was being created for a very large territory with geologically, tectonically, seismically very different area with the same requirements (baseline data of different reliability, technologies);

B/ Especially from 1957 to 1989, the cheap and fast construction of a large number of multi-apartment buildings became a state policy, which had a certain effect on professionals;

C/ The influence of the frozen opinion of authoritative scientists on the GSZ map makers was great. They were often the leaders of these works [9,10].

Conclusions

Until 2020 the level of seismic hazard in the territory of RA was reduced with all 7 GSZ maps approved by the construction norm. If in 1937 with the map it was rated 6-8 points according to the EMS-98 scale, then with the current map (2018) it became 7-10 points (acceleration 0.10-0.50g). The reasons for this are both subjective and objective. This fact has significantly contributed to the increase of the seismic risk in the territory of the republic, because the buildings and constructions of the state sector were designed and implemented taking into account seismic norms. 2020 can be considered a significant improvement of the situation. Probabilistic map of GSZ of 1:500000 scale approved as norm, prepared by RA and foreign specialists. It is based on a huge variety of the latest geological, tectonic, seismological and other important factual data, and the map was created using modern technologies [3,4].

References

- [1] Balassanian S. Yu., Nazaretyan S.N., Martirosian A.A., Arakelian A.R. Seismic Hazard Assessment in Armenia // Natural Hazards, 18, 1999, pp. 112-121
- [2] Balasanyan S. Yu., Nazaretyan S. N., Amirbekyan V. S. Seismic protection and its organization. // Publ. house Eldorado, Gyumri, 2004, 405 p., (in Russian)
- [3] Shen-Tu B., Klein E.C., Mahdyiar M., Karakhanyan A. et al. Seismic hazard analysis for Armenia and its surrounding areas. // Processed. 16th European Conference on Earthquake Engineering, Thessaloniki, Greece, June 2018, pp. 1-12. <https://www.researchgate.net/publication/327235616>
- [4] Karakhanyan A., Avagyan A., Arakelyan A., Sadoyan T. Aspects of the seismotectonics of Armenia. New data and reanalysis. // In " Tectonic Evolution, Collision, and Seismicity of Southwest Asia. In Honor of Manuel Berberian's Forty-Five Years of Research Contributions. Editor: Rasoul Sorkhabi. Published: Geological Society of America, Vol. 525, December 21, 2017. [https://doi.org/10.1130/2016.2525\(14\)](https://doi.org/10.1130/2016.2525(14))
- [5] Nazaretyan S.N. Seismic hazard and risk of territory of the cities of the 1988 Spitak earthquake zone. // Publ. house Gitutyun NAS RA. Yerevan, 2013, 204 p., (in Russian).
- [6] Nazaretyan S.N., Durgaryan R.R., Shahbekyan T.A., Mirzoyan L.B., Grigoryan A.G. Regional faults of RA territory according to geophysical data and their seismicity. // Publ. house Gitutyun NAS RA. Yerevan, 2015, 198 p., (in Russian). [https:// www.geokniga.org/books/20055](https://www.geokniga.org/books/20055)
- [7] Nazaretyan S., Shahbekyan T.. Block structure of the earth crust of the territory of Armenia. // Journal of the Georgian Geophysical Society, Vol. 25A, 2013, pp. 69-76.
- [8] Nazaretyan S.N., Gevorgyan M.R., Mughnetsyan E.A., Igityan H.A., Mirzoyan L.B. Dynamics of changes in the seismic risk of the territory of a big city in time, due to the vulnerability of multi-apartment buildings (a case study of Yerevan). // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, Vol. 58, No. 8, 2022, pp. 867-880.
DOI: 10.1134/ S 0001433822080023
- [9] New catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR. // Moscow. Publ. house Nauka, 1977, 535 p., (in Russian)
- [10] Seismic zonation of territory of the USSR. // Publ. house Nauka, Moscow, 1980, 307p., (in Russian).

SEISMIC RISK FEATURES OF A DESTRUCTIVE EARTHQUAKE ZONE

*Nazaretyan S.N., **Igityan H.A., *Mazmanyanyan L.V., ***Mirzoyan L.B.

**Regional Survey for Seismic Protection. Ministry of Internal Affairs of the Republic of Armenia, Yerevan, Armenia*

*** Institute of Geological Sciences NAS RA, Yerevan, Armenia*

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

Snaznssp@Mail.Ru

Abstract. The features of changes in the seismic risk of the zone of a strong earthquake, associated with both destructive consequences and the processes of these recovery. These two factors are the main reason for the change in the seismic vulnerability of preserved (not destroyed) and newly constructed buildings and structures, therefore, changes in the seismic risk of a fairly large area. This problem is not well understood, despite its importance in terms of assessing and reducing risk. The article proposes to divide the zone into subzones on the basis of a specific earthquake, taking into account the intensity and scale of destruction of buildings. This approach makes it possible to more reliably establish the general and local features of the change in the seismic risk of the restored earthquake zone.

Keywords. Earthquake, seismic hazard, risk, vulnerability of buildings.

Introduction

After the devastating earthquakes, the seismic risk of a vast territory - the zone of its influence, starting from an intensity of 6 points according to EMS - 98, changes significantly both due to seismic effects on buildings and structures, and the processes of restoring its consequences [1,3,4,5]. This primarily concerns the territory of cities, where the seismic risk is usually higher than in other settlements. Buildings and structures located in different areas of earthquake intensity are damaged to varying degrees. As a rule, after an earthquake, areas with strong and medium damage are restored and reconstructed. However, a significant part of its zone, where buildings receive light damage, is often left without proper attention. There are very few works devoted to this problem in the scientific literature, although this problem is important and relevant. The problem is considered on the example of the Spitak earthquake of 1988 (M=7.0; I=9-10 points; H=10 km), which is considered one of the most detailed and comprehensively studied earthquakes in the world [3,4].

1. Main Factors Determining the Features of the Seismic Risk of the Zone of Earthquake

The seismic risk of an earthquake zone is significantly affected by the following factors [2,3,5,6,7].

Seismic hazard. Practice shows that in most cases, after a devastating earthquake, seismic hazard assessments are revised, including the General seismic zonation map (GSZ) of the earthquake zone and maps of seismic microzonation of urban areas. As a result of the revision of maps, more often, the level of seismic increases, the boundaries of the most dangerous seismic zones expand, measures are taken to avoid repeating mistakes.

Vulnerability of buildings and structures. The main damage from earthquakes in most cases is associated with the high vulnerability of residential and public buildings [1,2,6,7]. Unfortunately, in many developing countries, even after devastating earthquakes, the situation does not change significantly. A detailed assessment of seismic vulnerability is a technically complex and expensive procedure that includes a huge amount of data on buildings, their structural types, design features, seismic response characteristics in urban areas, etc. [7]. Sometimes the application of modern methodology [5,7], including dynamic testing of natural buildings in resonant mode, does not allow to reliably assess the vulnerability of buildings, because the quality of their construction is low. The most reliable way to solve the problem is to apply the results of the analysis of statistical data on damage to the main types of buildings due to an earthquake [4,5].

With strong impacts, more often vulnerable typical buildings, in particular residential and public (especially education and healthcare) receive significant damage or collapse [4,7]. It is especially necessary to assess the seismic vulnerability of typical buildings, including general education schools [4,7]. Usually, heavily damaged buildings are dismantled or strengthened, but the attitude of the authorities is ambiguous in the issue of restoring and strengthening lightly damaged buildings. Buildings and structures with so-called "hidden" or invisible damage for some reason are not restored and strengthened [4], as a result of which the seismic risk of the territory built up with such buildings increases. As a rule, as a result of the restoration and reconstruction of the earthquake zone, new earthquake-resistant buildings and structures are built, and damaged ones are strengthened.

Vulnerability of city infrastructure. Lines of electricity, gas, water supply, sewerage, communications, etc. of the city due to strong ground shaking, and partly, rescue operations, are damaged or fail [4,7]. An important role in the vulnerability of infrastructure is played by their technical condition (age, damage) and the geological features of the territory (environment) through which they are laid. Usually immediately after a devastating earthquake, based on social importance, the water supply and electricity lines are restored, and then or simultaneously the rest [4,5,6]. After restoration, the vulnerability of infrastructure lines is sharply reduced, because most pipelines and cables are replaced with new ones. Often, the areas of cities where the intensity of the earthquake was less than 8 points, individual elements of the infrastructure are not being restored on a large scale, therefore they are more vulnerable.

Seismic effects on buildings. Usually, the earthquake zone is divided into subzones according to the intensity of the ongoing earthquake and the scale of destruction of buildings and structures [4,5]. Vulnerable buildings receive serious damage starting from an intensity of 8 points, at 10 points massive destruction of buildings and structures occurs. On fig. 1 shows damage maps of multi-apartment and public buildings in cities located in zones of different intensity of the 1988 Spitak earthquake: 9-10 (Spitak), 9 (Leninakan and Stepanavan cities) and 8 (Ashotsk). Based on the experience of this earthquake, it is advisable to divide the zone into the following 4 subzones [4,5]: 1. *Strong destruction* (intensity 9-10 points); 2. *Significant destruction* (8-9 and 9 points); 3. *Medium destruction* (7-8 and 8 points); 4. *Weak destruction* (6-7 and 7 points). In general terms, most of the buildings of the first subzone are practically destroyed or receive such damage (3-4th and higher degrees, according to the five-degree scale of building codes of the RA), and they are subject to demolition. In the subzone of significant destruction, buildings are either destroyed or damaged by the 2nd-4th degree (fig. 1). Part of the damaged buildings (2nd and 3rd degree) is subject to restoration, and the other part with damage of the 3rd-4th degree - to be dismantled. The buildings of the last two subzones in most cases receive minor damage and if they are not restored, then their seismic vulnerability increases, and therefore the risk.

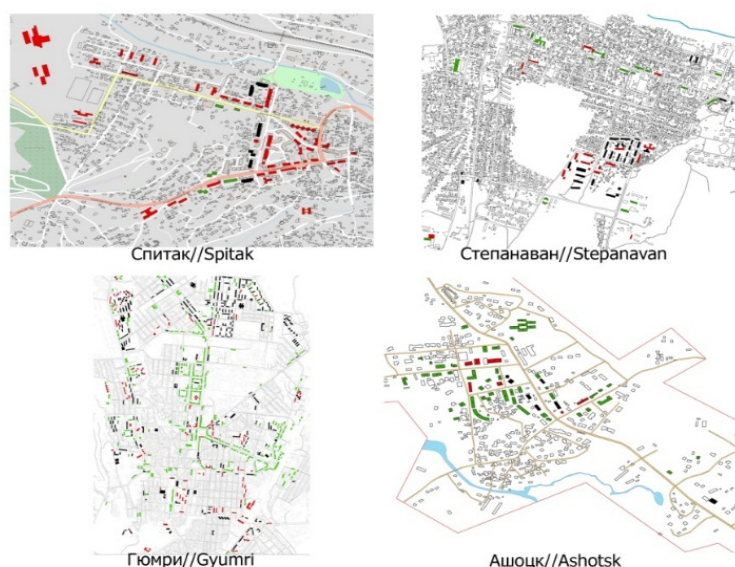


Fig. 1. Maps of damage buildings in the cities of Armenia due to the 1988 Spitak earthquake located in subzones of various destruction: strong (Spitak - earthquake intensity 9-10 points), significant (Gyumri and Stepanavan - 9) and medium (Ashotsk - 8). Buildings are shown in colors: red - completely destroyed (5th degree of damage); in black - dilapidated (4th degree); green - to be restored (2 and 3rd degree) [4].

In [4] the types of residential buildings and the degree of damage received are shown depending on the intensity of the 1988 Spitak earthquake. It is obvious that multi-apartment frame-panel and multi-storey stone buildings, as well as school and hospital buildings built in 1957-1988, are the most vulnerable. The main reason for

the large-scale destruction of the buildings of the former public sector in Spitak with a design seismicity of 7 points is the 9-10-point intensity of the earthquake (fig. 1), because. the difference between the design hazard and the intensity of the earthquake was about 3 points.

2. Maps of seismic risk of the territory of cities in the zone of the Spitak earthquake of 1988.

Specialists seismic service of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Armenia, according to the methodology described in [4,5,6], maps of the seismic risk of 16 cities of Armenia located in the intensity zone of 7 and more points of the Spitak earthquake in 1988 [4,6]. On fig. 2 as an example 5 seismic risk maps are presented, and in table 1 - some important data on seismic hazard and risk of the territory of 12 cities. They are used to identify the features of changes in seismic risk.

Table 1. Some indicators of seismic hazard and risk of the territory of cities in the zone 1988 Spitak earthquake.

N	Name of city	Intensity of 1988 Spitak earthquake	Percentage of territory destroyed	Seismic hazard level according to RA building codes, years of validity.		Risk areas (% in relation to the total area of the city)		
				intensity, 1957- 1988	intensity, acceleration 1994 - 2020	high	average	low
1.	Spitak	9-10	100%	7; 8	9 and more (0.40g)	12	40	48
2.	Gyumri	9	50%	8	9 and more 0.40g)	8	25	67
3.	Stepanavan	9	40%	7; 8	9 and more (0.40g)	3	47	50
4.	Vanadzor	8-9	30%	7	9 and more (0.40g)	20	40	40
5.	Dilijan	7-8	20%	7	9 and more (0.40g)	20	65	15
6.	Artik	7-8	10%	8	8-9 (0.30g)	10	50	40
7.	Tashir	7-8	10%	7; 8	8-9 (0.30g)	10	30	60
8.	Maralik	7	10%	8	8-9 (0.30g)	20	30	50
9.	Alaverdi	7	-	7	8 (0.20g)	15	50	35
10.	Ijevan	7	-	7	8 (0.20g)	10	80	10
11.	Noemberyan	6-7	-	6; 7	8 (0.20g)	7	53	40
12.	Berd	6-7	-	6; 7	8 (0.20g)	27	50	23

3. Important features of changes in the seismic risk of the territory of cities in the restored zone of destructive earthquake

According to seismic risk maps, 12 cities [4] and table 1 the following general features of changes in seismic risk are distinguished:

1. The seismic risk of the territory of cities in the earthquake zone with great destruction is significantly reduced both as a result of strong earthquake shaking and during the restoration (reconstruction) of its zone. The main reasons are as follows:

- due to a devastating earthquake, cities are getting rid of non-seismostability buildings, because badly damaged or destroyed buildings are dismantled and demolished,
- adequately seismic hazard, including new assessments, new buildings are being built and emergency buildings are being reinforced. Sometimes even slightly damaged buildings and structures are strengthened,
- after the earthquake, as a result of a reassessment of the seismic hazard, new, higher levels were set. The standards of earthquake-resistant construction, methods of designing buildings and structures were revised, the quality of construction was more strictly controlled, new technologies and materials were applied, new methods were developed and implemented to improve the seismic resistance of buildings, as a result of which the seismic risk of urban areas was significantly reduced.

2. On the other hand, especially those cities the buildings of which did not receive significant and noticeable damage were left without attention and their seismic vulnerability increased [4]. According to the building codes of Armenia and many developing countries, the operation of buildings that have received damage of the 1st or 2nd degree is allowed, which contributes to an increase in risk.

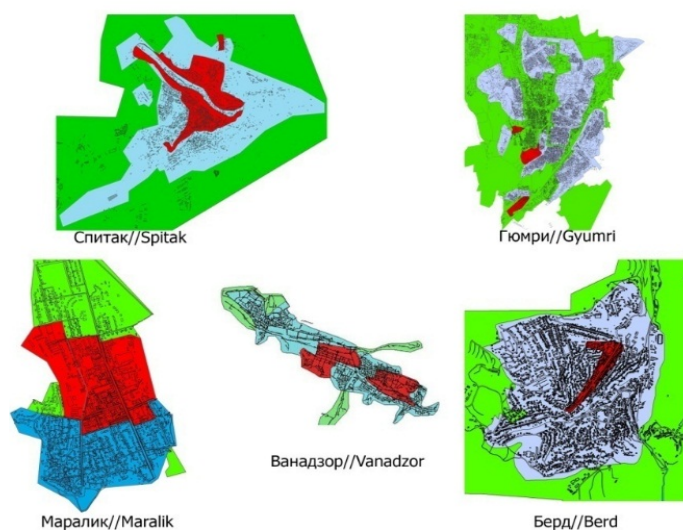


Fig. 2. Maps of seismic risk of damage residential and public buildings in the territory of the cities of Armenia located in intensity zones 1988 Spitak earthquake: Spitak (9-10 points), Gyumri (9), Vanadzor (8-9), Maralik (7), Berd (6-7) [4]. The colors indicate risks level: red - high; blue - average; green – absent.

Conclusion. The seismic risk of the territories of cities in developing countries exposed to a devastating earthquake changes significantly both due to the destruction and damage of buildings and structures, and due to the restoration and reconstruction of the earthquake zone. As a rule, the risk of cities located in the zone of severe destruction is significantly reduced due to the dismantling and demolition of heavily damaged buildings, the strengthening of slightly damaged buildings, as well as the construction of new earthquake-resistant residential, public and other buildings and infrastructure lines of the city. On the contrary, the seismic risk of the territory of those cities, the buildings of which received weak and medium damage and were not fully restored, increases. The problem worsens more if, according to the new regulations, the seismic hazard increases. Practice shows that more often in developing countries located in seismically active regions, for various reasons, weakly damaged buildings are not completely restored.

References

- [1] Asryan A., Hazarika M., Mnatsakanyan S., Nazaretyan S., Pandyal G. The Main Natural Hazards and Risks of the Territory of Dilijan City and the Opportunities for Application of Space-based and Information and Communication Technologies for Strengthening Disaster Resilience. // Crisis Management and technologies, N 10, 2016, pp. 54-65. <http://www.mes.am/files/docs/1675.pdf>
- [2] Cherif S.E., Chourak M., Abed M., Pujades L. Seismic risk in the city of Al Hoceima (Morocco) using the vulnerability index method, applied in Risk-UE project. // Nat. Hazards. 85(1), 2016, pp. 329-347. DOI:10.1007/s11069-016-2566-8
- [3] Francisco J. Chávez- Garcia, Hugo Monsalve -Jaramillo, Joaquín Vila-Ortega. Vulnerability and Site Effects in Earthquake Disasters in Armenia (Colombia). II - Observed Damage and Vulnerability. // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 21, 2021, pp. 2345–2354. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-2345-2021>
- [4] Nazaretyan S.N. Seismic hazard and risk of the territory of cities in the zone of the 1988 Spitak earthquake. // Publishing haus Gitutyun NAS RA, Yerevan, 2013, 212 p., (in Russian).
- [5] Nazaretyan S.N. Main features of the new methodology for seismic risk assessment of Armenian cities. // Seismic Instruments, 56, 2020, pp. 317-331. Doi.org/10.3103/S0747923920030093
- [6] Nazaretyan S.N., Gevorgyan M.R., Igityan H.A., Mirziyan L.B., Mughnetsyan E.A. Dynamics of Time Changes in the Seismic Risk of a Big City Due to the Vulnerability of Apartment Buildings (a Case Study of Yerevan). // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, Vol. 58, No. 8, 2022. <https://doi.org/10.3103/S0747923921020298>
- [7] Silva V., Amo-Oduro D., Calderon A., Costa C., Dabbeek J., Despotaki V., Martins L., Pagani M. et al. Development of a global seismic risk model. // Earthquake Spectra. 2. Vol. 36, issue 1_suppl., 2020, pp. 372-394. <https://www.globalquakemodel.org/product/interactive-exposure>

CHARACTERISTIC ILLEGAL CHANGES IN MULTIAPARTMENT BUILDINGS THAT LEAD TO DAMAGE TO THE BUILDINGS DURING THE 1988 SPITAK EARTHQUAKE

Tatoyan S.S., Aramyan Sh.A.

*Regional Survey for Seismic Protection. Ministry of Internal Affairs of the Republic of Armenia, Yerevan, Armenia.
sergey.tatoyan.s@gmail.com*

Abstract. The studies show that in the multi-apartment buildings of the Republic of Armenia, many illegal modifications reducing the seismic resistance of the buildings have been carried out by the residents. As a result of the devastating 1988 Spitak earthquake, the reason for the collapse of 10 percent of the stone buildings in the city of Gyumri was illegal structural changes and damage to the bearing structures. It is not known how many buildings were damaged. The performed illegal modifications were classified according to the degree of danger.

Keywords: multi-apartment building, seismic vulnerability, illegal modification, seismic risk.

Introduction

While studying the consequences of the devastating 1988 earthquake in Spitak and its causes, experts noticed that one of the many reasons for the collapse and severe damage of a large number of apartment buildings was the illegal modifications made by the residents in the apartments. Some of these have resulted in reduced seismic resistance of the buildings. Of course, this fact is not news, many experts alerted about this [1,2,4]

However, the problem remains relevant to this day and such illegalities must first be prevented, and those committed must be eliminated. If we take into account that one of the main reasons for the tragedy of Spitak in 1988 is the low quality of the construction carried out during the Soviet years (especially 1957-1989) (non-observance of construction technologies, non-compliance with the required standards of building materials, deviations from approved projects, etc.), the underestimation of the seismic hazard of almost the entire territory of the republic, design flaws, etc., then the importance of the issue under discussion becomes obvious, because all these reasons combined brought about the unspeakably severe consequences of the earthquake [2,3,5].

In February 2022, the "Rules for the maintenance, operation, modernization of multi-apartment buildings (including increasing energy efficiency and energy saving)" developed by the Urban Development Committee of the Republic of Armenia were put into effect, which further tightens the requirements for the operation of buildings, as well as to exclude dangerous illegal reconstructions [6]. However, the problem is complex and requires a systemic state approach. At the time, it was not particularly noticed by local governments, and the residents carried out many illegal modifications of the building elements in their apartments and common areas at their own discretion. Buildings are designed and built according to many norms, and illegal modifications lead to such modifications of the building elements that in the event of an earthquake can cause the entire building to be damaged or even collapse.

1. Research results of the problem

The results of the study of the consequences of the 1988 earthquake in Spitak showed that many illegal modifications were carried out by the residents in the apartment buildings, reducing the buildings' seismic resistance. For example, the reason for the collapse of at least 10 percent of 147 multi-story residential stone buildings in Gyumri was also those illegalities, and the number of badly damaged buildings was many times more [2]. Residents had grossly violated almost all points of the building operation order, which led to the deterioration of the building's technical condition (weakening of the foundations, damage to bearing columns and wheels,

making openings in the bearing walls, and demolishing the inner layer of the row of walls, installing large volume water tanks on the roofs, inside the building implementation of redundant buildings, etc.). In terms of earthquake resistance and safe operation of buildings, overloading of the load-bearing structures of buildings is a serious problem. Residents, for various purposes, in addition to modifications of structural elements, make additions to attics and balcony platforms. Residential and auxiliary structures are built with structural solutions different from the stiffness and load capacity of the building's bearing system, which causes damage to the buildings during an earthquake. The installation of heavy water tanks on the roofs also negatively impacts the seismic resistance of buildings, which, in addition to additional loading, also causes additional inertial forces due to water oscillations [1].

These illegalities gained a greater scale after the privatization of housing. Severe damage was done to the buildings when the first-floor flats of the multi-story buildings were allowed to be converted into service facilities en masse. For this purpose, substantial reconstructions were carried out in the apartments, most of them with appropriate permits and approved projects. However, as the works were carried out and there were no deviations from the projects, there are grounds for serious concerns.

In Akhuryan, we randomly selected two apartment buildings, one built before the 1988 Spitak earthquake, and the other after it. The results are presented in table 1.

Table 1. The results of the investigation of two apartment buildings in Akhuryan, regarding the illegal modifications carried out by the residents in the building.

Address of the building	Modifications that do not affect seismic resistance	Modifications that can be easily eliminated	Modifications, complete or partial demolition of bearing walls	No modifications
Akhuryan Highway, 83	77.8%	11.0%	5.6%	5.6%
New Akhuryan, Ghambaryan, 3a	12.5%	-	-	87.5%

2. The essence of the problem

The seismic risk of most of the settlements in the territory of the Republic of Armenia, that is, the total of all possible losses in the event of a strong earthquake in the given area, is very high, especially due to the low seismic resistance of multi-apartment buildings. Illegal modifications and reconstructions of buildings contributed to this as well. Therefore, it is necessary to identify and try to eliminate those illegal modifications and prevent new illegalities from being carried out. Often, those implementing the management of buildings do not perform the control functions assigned to them, and the municipalities do not deal with this issue properly. Today, this problem has reached alarming levels, especially in the capital and major cities.

The main problem can essentially be divided into two groups of problems.

1. To prevent new illegal changes in apartment buildings.
2. To detect and eliminate the previously committed illegalities.

In order to solve the problems of the first group, in addition to the implementation of the functions of the relevant state bodies, the local self-government bodies and the residents of apartment buildings have an important role. Municipalities should clearly perform the following functions under the authority of the construction department, the council of elders, and the management bodies of housing operation:

- Prohibit any modification of the structural elements of the building without a professional opinion, project documents, and construction permit. These are works requiring special permission and are carried out by licensed organizations.
- The municipality and the council of elders must control the processes and exclude the corruption risks.
- Local governments, in addition to the rings that organize the operation of condominiums and buildings under their authority, should conduct explanatory work among the population.

In order to solve the problems of the second group, it is necessary:

- Detect illegal modifications or reconstructions made by residents in all multi-apartment buildings.
- Classify illegal modifications according to their degree of danger, accessibility of elimination, the time required, and financial resources. Separate the illegalities that can be eliminated by the means of the apartment owner or the building management body, and order to eliminate the illegalities that are dangerous from the point of view of earthquake resistance, require financial resources, time, and professional skills (reconstruction of the supporting elements of the building), submit justified proposals to the Ministry of Territorial Administration and Infrastructure of the Republic of Armenia and the Committee for Urban Planning of the Republic of Armenia.
- We consider it necessary to develop complex state programs to eliminate the illegal reconstructions carried out in the buildings, which have led to the reduction of their seismic resistance, using the state budget of the Republic of Armenia and other means. The works must be carried out according to the procedure established in the republic by involving licensed organizations and individual entrepreneurs in the assessment of the technical condition, design and expertise, implementation of construction and its control, and other functions.

3. The most common types of illegal modifications in apartment buildings

When describing the illegal modifications carried out in the buildings, we conventionally divided the buildings into three parts according to the storeys: basement, first, second and higher floors. In the case of such a division, the detected illegalities in the corresponding parts of all types of buildings are basically the same (tables 2 and 3).

Table 2. The most common illegalities in stone apartment buildings.

Floor	Illegal modification								
	Digging pits below the base	Damage to the foundation of the building	Partition changes	Damage to bearing walls	Partial demolition of the inner row of bearing walls	Demolition of bearing walls to the outside	Expansion of living spaces due to balconies	Dismantling or damage of reinforced concrete connections	Making an opening in the ceiling covering of the last floor
Basement floor									
First									
Second and above									

Table 3. The most common illegalities committed in multi-apartment buildings with reinforced concrete structures.

Floor	Illegal modification									
	Digging pits below the base	Damage to the foundation of the pillar	Partition changes	Damage to bearing walls	Openings in panel walls	Damage to bearing reinforced concrete columns	Expansion of living spaces due to balconies	Dismantling or damage of reinforced concrete connections	Making an opening in the ceiling covering of the last floor	Damage to exterior wall panels
Basement floor										
First										
Second and above										

Residents carry out illegal modifications in buildings for various purposes, often not realizing the consequences of what they have done in terms of reducing the seismic resistance of the whole building or its individual parts. Among the most common purposes of modifications are the construction of basements and garages, changes in the layout of rooms at the expense of other rooms, corridors, and kitchens, opening of doors or windows, partial demolition of the inner row of stone walls to open cupboards or doors, "beautification" of the apartment or rooms by dismantling structural elements, expansion of the apartment at the expense of outbuildings or balconies, opening of exits from the roof slabs to the roof, etc.

Conclusion

1. Almost all multi-apartment buildings in the settlements of the Republic of Armenia, especially buildings built during the Soviet years, have been and are being illegally modified, including those that have reduced the building's seismic resistance.

2. The illegal modifications and especially the reconstructions carried out in the buildings in the past, regardless of who did it, on what grounds, and when they are eliminated, can be conditionally divided into three groups:

a. modifications that do not affect the seismic resistance of the building.

b. Irregularities that affect the seismic resistance of the building can be eliminated quickly, at a low cost, with the help of non-licensed professionals.

c. Reconstructions that have a significant impact on the seismic resistance of the building and their elimination are mandatory and require certain financial resources, time, also the involvement of licensed professional forces (for a project, construction, supervision, acceptance-handover, etc.).

d. To prevent new illegal modifications in multi-apartment buildings, a key place should be given to strengthening and monitoring local self-government bodies and councils. It is important to involve the professional forces of the municipal administration, the territorial inspection bodies of the Republic of Armenia, and the seismic service of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Armenia. Emphasize the implementation of explanatory works for residents of multi-apartment buildings.

Offers

1. After revealing the committed illegalities and the classification mentioned in point 2, the following solutions are proposed regarding them: a/ the illegalities of the first group, in case of the agreement of the Urban Development Committee of the Republic of Armenia, to keep; b/ to eliminate illegalities of the second group by the means and forces of the apartment owners and the local government; c/ consider the illegal reconstructions of the third group to be systemic and solve them at the state level with the help of medium-term programs with the help of various donors and state funds.

2. It is necessary to take realistic steps, first of all, to prevent new illegal modifications, including the reconstruction of structural elements in multi-apartment buildings, and secondly, to identify and document the illegalities that have already been carried out.

3. In order to prevent new illegal modifications in multi-apartment buildings, a key place should be given to the strengthening and monitoring of local self-government bodies and councils.

4. Emphasize the implementation of explanatory work with residents of apartment buildings. For this purpose, it is necessary to involve the mass media, the lecturers-instructors of the public works department of the Urban Planning Committee, the Seismic Protection Territorial Service of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Armenia, to conduct explanatory works with different layers of the population and employees of local governments through different means of agitation.

References

- [1] Nazaretyan S.N., Tatoyan S.S., Zakaryan N. H. Guidebook for the exclusion and detection of illegal deformations that reduce earthquake resistance in RA multi-apartment buildings.// Eldorado, publishing house, Gyumri, 2022, 49 p.
- [2] Nazaretyan S.N. Seismic hazard and risk of the territory of the cities of the 1988 Spitak earthquake zone. // Publishing house Gitutyun NAS RA, Yerevan, 2013, 212 p.
- [3] The 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
- [4] Nazaretyan S. The 1988 Spitak Earthquake in Photos, Facts and Comments. // Yerevan, Publishing house, Gitutyun National Academy of Science RA, 2018, 140 p. <http://www.mes.am/files/docs/3199.pdf>
- [5] The tragedy of Spitak should not be repeated. // Publishing house Voskan Yerevantsi, Yerevan, 1998, 346 p.
- [6] Rules for maintenance, operation, modernization (including increasing energy efficiency and energy saving) of multi-apartment buildings. // The Chairman of the RA Urban Development Committee Order No. 02N of January 31, 48 p.

A NEW POINT OF VIEW AT THE DESTRUCTIVE 1827 TSAGHKADZOR EARTHQUAKE

*Haroutiunian R.A., **Asatryan A.H., ***Nazaretyan S.N., *Egnatosyan N.M.,
*Avagyan A.V.

**Institute of Geological Sciences NAS RA, Yerevan, Armenia*

***Research Center for Cultural and Historical Heritage, Yerevan, Armenia*

****Regional Survey for Seismic Protection. Ministry of Internal Affairs of the Republic of Armenia, Yerevan,
Armenia
snaznssp@mail.ru*

Abstract. The devastating earthquake of October 8, 1827, known as the "Tsaghkadzor earthquake", was more powerful than previously imagined. As a result, not only churches in Tsaghkadzor and on the shores of Lake Sevan were destroyed, but also churches in other places in northeastern Armenia, as well as buildings in the city of Tbilisi. New estimates of earthquake parameters and a scheme of its isoseismals are presented.

Key words: Historical earthquake, epicenter parameters, isoseismals.

Introduction

There is a lot of written information about strong earthquakes in Armenia over the past two thousand years. These data describe the behavior of the most significant monumental architectural structures such as churches, temples, palace buildings, fortresses during natural devastating phenomena. The historical valuable information on the consequences of strong earthquakes mainly concerns the damage and destruction of church buildings built since the 4th century. Different interpretations are based on the described damages of the church buildings when determining the intensity of these earthquakes (and therefore magnitudes) [6]. The disagreement among experts, especially on the issue of assessing the parameters of the Tsaghkadzor earthquake of 1827 are significant. In this work, we have attempted to clarify the main parameters of the Tsaghkadzor earthquake in the light of the results of studying the consequences and characteristics of the 1988 Spitak earthquake.

1. Ideas about the Tsaghkadzor earthquake of 1827 before the destructive 1988 Spitak earthquake

According to chronicle sources [10], the most powerful earthquake recorded in the Caucasus in 1827 occurred on October 8, 1827 in Armenia. It affected the entire Aparan region, the village of Tsaghkadzor and the north, north-western shores of Lake Sevan. The French traveler Dubois de Montpere, who visited these regions of Armenia in 1834, writes: "The strong earthquake of 1827 shook most of Armenia and shook the Kecharis Church to such an extent that its dome collapsed. The same earthquake destroyed many churches on the shores of Sevan." Bishop Hovhannes Shakhatunyan reports: "In 1827, in the month of October, a not very strong earthquake occurred (according to V. Stepanyan, Shakhatunyan gave such an assessment in 1842 under the impression of the recently occurring catastrophic Ararat earthquake of 1840). As a result of the earthquake, only the Church of St. Sarkis monastery of Ushara (Ushi), the cathedral church of the Kecharis monastery, as well as private old houses in many places are destroyed."

Piruzyan S. [9] conducted very detailed studies of the 1827 earthquake. The results of these studies are summarized as follows:

1. The earthquake caused destruction in only 2 churches of the Kecharis monastery. The Kecharis monastery includes four churches - St. Grigor, St. Nshan, St. Harutyun and Katoghike. They all have the same design; the walls were built from clean, large blocks of basalt, using very solid lime mortar. Church of St. Harutyun, the

smallest and most flexible, did not receive seismogenic destruction. Church of St. Grigor and Katoghike, the most massive ones, suffered significant damage, which, taking into account the very good quality of construction of Armenian churches, can be attributed to the intensity 9-10 points. Church of St. Nshan, which occupies a middle position in terms of rigidity (judging by its size), received minor damage (the upper outer part of the dome fell out). All the churches are located on very dense rock, on the edge of a cliff”.

2. A survey of the epicentral zone showed that there were no destruction of seismic origin in other church buildings near Tsaghkadzor: Makravan (2 km), Bjni (10 km), Arzakan (13.5 km) villages, on the three churches in Sevan Peninsula (22 km), etc.

3. It was established that during the earthquake there was no mass destruction of rural houses, both in Tsaghkadzor itself and in nearby settlements (Makravan, Solak, Qakhsi, Ddmashen, etc.). This suggests that the intensity of the earthquake of 1827 did not exceed 6-7 points.

4. The destruction of churches in Tsaghkadzor is associated with the phenomenon of resonance of short-term high-frequency (15-16 Hz) seismic vibrations in the structures themselves.

5. The 1827 earthquake of an intensity 6-7 points occurred in the immediate vicinity of Tsaghkadzor, at a very shallow depth (probably no more than a few kilometers).

The following parameters were given in the scientific literature (coordinates of the epicenter, depth of the hypocenter (H), magnitude (M) and intensity (I₀), characterizing the earthquake of October 8, 1827:

$\varphi N=40^{\circ}36'$, $\lambda E=44^{\circ}24'$, $H=6$ km, $M = 4.5$, $I_0=6-7$ [9],

$\varphi N=40^{\circ}33'$, $\lambda E=44^{\circ}42'$, $H=10$ km, $M= 5.0$, $I_0 =7-8$ [3].

These ideas persisted until the devastating 1988 Spitak earthquake, which occurred, according to the then existed seismic zoning map of Armenia, in the seven-point intensity zone.

2. Representations of the 1827 Tsaghkadzor earthquake after 1994 research.

In 1994 research was carried out at the initiative of the newly created National Service for Seismic Protection (NSSP) of Armenia, scientific work was carried out to research the seismic hazard in the area around the Armenian Nuclear Power Plant. Unfortunately, the report on these studies (Haroutiunian R.A., Karakhanian A.S., Assatryan A.H. (1994) "Study of the impact of historical earthquakes on the territory within a radius of 25 km from the Metsamor NPP site", in NSSP funds) was not published, the part of the obtained results were presented only in the collection of materials of the NATO workshop on historical earthquakes in the Caucasus [2].

Historical chronicles have revealed irrefutable evidence of the destruction of churches in remote places from Tsaghkadzor village: on the shore of Lake Sevan (20 km to the east), in the village of Ushi (36 km to the southwest). Based on this, Piruzyan's opinion was questioned that the hypocenter of the earthquake was in the immediate vicinity of Tsaghkadzor at a depth of 6 km and the intensity of seismic vibrations at the epicenter did not exceed 6-7 points, since in this case it is impossible that such an earthquake could destroy an Armenian church 36 km from the epicenter.

In connection with this issue, additional research was undertaken to identify new data on the destruction of Armenian churches during the earthquake of October 8, 1827. As a result of studies of historical, chronicle and data on the destruction of historical monuments, new, previously unknown information was obtained about the destruction or damage of Armenian churches in 6 points in the northeast of Armenia [2]: the Church of St. Astvatsatsin in Vanadzor, Tekhenyats monastery complex in the village of Buzhakan, St. Grigor in the village of Ohanavan, Church of St. Zoravor in Haghpat, Dsevan Church in the Kayan fortress. In the destruction zone of this earthquake, other destroyed church buildings were discovered without indicating the time of destruction, but restored in the period 1830-1840. The latter allowed to attribute these destructions to the earthquake of 1827. The data obtained made it possible to outline the areas of 9-point and 8-point earthquakes, based on from an assessment of the degree of destruction of churches on the following scale:

- Intensity 9 and more - complete destruction,
- Intensity 8 - partial collapse of walls, and destruction of the dome.

The obtained 9-point isoseismal is a NNW elongated ellipse along the Garni active fault [2]. Thus, the epicenter of the earthquake of October 8, 1827 is located at the junction of the Garni and Alavar segments of the Garni active fault and has the following characteristics:

$$\varphi N=40^{\circ}37', \lambda E=44^{\circ}32'; M=6.5 \pm 0.5; I_0=8-9 \text{ points [2]}$$

3. Results of new research.

In 2022, an article was published [5], rejecting our estimates of the Tsaghkadzor earthquake, considering them overestimated, and accepting the opinion of S. Phiruzyan [9] - the destruction of some church buildings was only in the Kecharis monastery, located in Tsaghkadzor, due to the phenomenon of vibration resonance in them, rural houses in Tsakhkadzor and neighboring villages did not collapsed, the intensity of seismic vibrations at the epicenter of the earthquake was of 6-7 points.

Even the date of the earthquake was questioned by critics [5]. To confirm the accuracy of the date, it is appropriate to mention the diary entry of E. Lachinov [4]: "I forgot to say before that during the occupation of Erivan on October 8, there were several rather strong shocks of earthquake repeated for about five days, reaching even Tiflis...". And also, "There was an earthquake on October 8, 1827, at 12.35 midnight in Tiflis and in all cities and provinces of Georgia" [1]. Note at that time Georgia (Kartli-Kakheti) included modern eastern Georgia and northern Armenia (regions of Gori, Dusheti, Telavi, Skhnakhi, Lori).

S. Phiruzyan's opinion that during the earthquake there were no massive destructions of rural houses, both in Tsakhkadzor itself and in nearby settlements (Makravan, Solak, Qakhsi, Ddmashen, etc.) [9] contradicts historical evidence. Let us cite one of them, dating back to 1829 [1]: "At the plant in Darachichak (Tsaghkadzor) there are now 6 small houses of stone belonging to the ore miners... Near the plant there are still the ruins of the Armenian Church and traces of a small village that was here in ancient times".

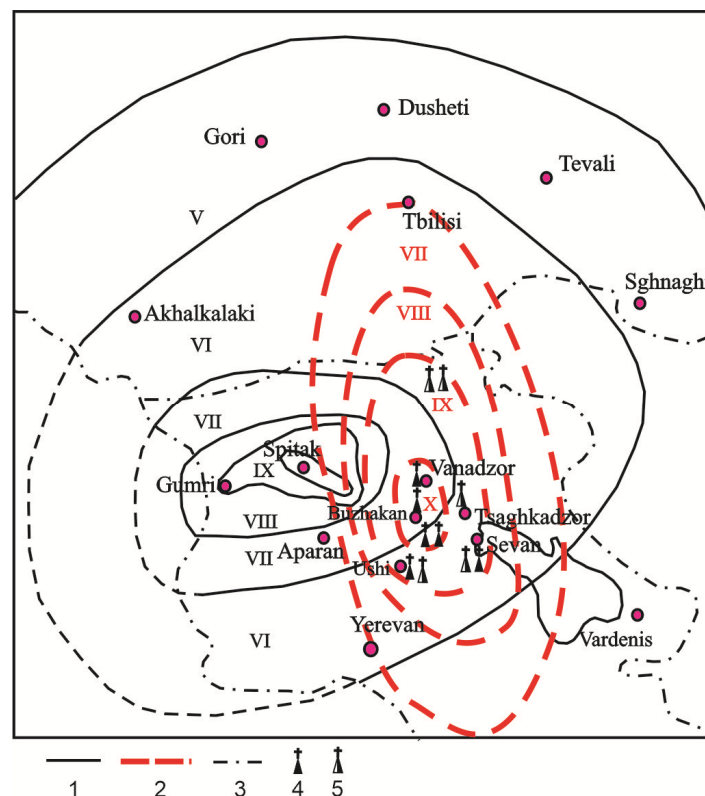


Fig. 1. Isoseismals of 1988 Spitak [7] and 1827 Tsaghkadzor earthquakes: 1 – isoseismals of the 1988 Spitak earthquake, 2 – isoseismals of the 1827 Tsaghkadzor earthquake, 3 – country borders. Consequences of the 1827 earthquake: 4 – destroyed churches, 5 – half-destroyed churches.

In 1994, when it became known that the Church of St. Nicholas, the Narikala fortress and residential buildings in the city were completely destroyed in Tbilisi. An assumption arose - since the 9-point seismic

vibrations that destroyed the church in Tbilisi could not have occurred during the Tsaghkadzor earthquake, it means there was another earthquake, the epicenter of which was to north of Tbilisi. Therefore, research in this direction was then stopped in 1994. Recently it turned out that there is another version of the reason for the destruction of the church and the fortress in which the church was located. A powder warehouse for the Russian army was built in the church, the explosion of which led to the destruction of the church and fortress. There is an assumption that earthquakes and explosions are interconnected (<https://marshruting.com/2022/08/18/>). It is very likely, since it resembles the situation in Yerevan, when during the 1988 Spitak earthquake, which manifested itself in Yerevan (as well as in Tbilisi) with 6-point fluctuations. After the second strong shock, a few minutes after the first, all IGS employees and visitors to the Geological Museum, located in the city center, hastily left the 2-story building, built in the 19th century. In this way one can imagine the situation in the powder magazine in the Church of St. Nicholas. Of course, a 7-point fluctuation could not destroy the church, but it could cause severe panic among the warehouse staff, which could leave the church building immediately after the first shock. And such vibrations, possible during the Tsaghkadzor earthquake, could well have knocked over the candlesticks, which could have caused a fire, a subsequent explosion of the gunpowder warehouse and the destruction of the church.

In 1994 was assessment intensity at the epicenter of Tsaghkadzor earthquakes of 9 points and it is believed that the collapse of domes and other significant destruction of churches are possible with fluctuations of 8 points [2]. Therefore, it is assumed that the earthquake of October 8, 1827 was weaker than Spitak. Now that all the data on the destruction zone of the Spitak earthquake has been summarized [6,7] and it turned out that the complete destruction of Armenian churches occurs with 10-point fluctuations, the fall of domes and other significant destruction occurs with 9-point fluctuations. Taking these parameters into account, a new isoseismals scheme of the 1827 earthquake was constructed and, judging by the more extensive isoseismals for 7-10 points, it was much more powerful than the Spitak earthquake of 1988 (Fig.1).

Thus, the Tsaghkadzor earthquake of 12:35 p.m., October 8, 1827, which shocked the all territory of modern Armenia and eastern Georgia and had the following characteristics:

$$\varphi N=40^{\circ}37', \lambda E=44^{\circ}32'; M=7.1 \pm 0.2; I_0=10 \text{ points} .$$

References

- [1] Acts, collected by the Caucasian Archeographic Commission.// Volume VII, Tiflis, 1878, 954 p., (in Russian).
- [2] Haroutiunian R.A., Karakhanian A.S., Assatrian A.H. Strong Historical Earthquakes in the Armenian Upland: new data and elaboration of a technique. // (in Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus, Yerevan, Armenia, Vol. 28, July 11-15, 1996, pp. 375-382.
- [3] Karapetyan N.K. The mechanism of occurrence of earthquakes in the Armenian Highlands. // Yerevan. Pub house Academy of Sciences of the Armenian SSR, 1986, 228 p. (in Russian).
- [4] Lachinov E.E.'s diaries and records. // In Collection of documents and materials - Decembrists in Armenia and Transcaucasia, Yerevan, 1985 (in Russian).
- [5] Melik-Adamyanyan H.U., Krbekyan V.G., On the issue of the strength, intensity and destructive effect of the Tsaghkadzor earthquake of 1827. // In the journal "Crisis Management and Technologies", 2022, N 1, pp. 204-214 (in Russian).
- [6] Nazaretyan S.N., Mkhitaranyan K. A., Mughnetsyanyan E.A., Tigranyan M.T. Principles of compiling a special macroseismic scale for damage to Armenian churches to assess the intensity of historical earthquakes. // Materials of the International Conference dedicated to the 100th anniversary of Yerevan State University "Modern problems of geography and geology". Pub. house of Yerevan State University, 2018, pp. 204-208. <http://www.y-su.am/files/3-1573628784-.pdf>
- [7] Nazaretyan S. The 1988 Spitak Earthquake in Photos, Facts and Comments. // Pub. house ANAS. Pub. house Gitutyun, Yerevan, 2018, 140 p. <http://www.mes.am/files/docs/3199.pdf>.
- [8] Nazaretyan S.N. Seismic hazard and risk of the territory of the cities of the Spitak earthquake zone of 1988. // Pub. house "Gitutyun" ANA., Yerevan, 2013, (in Russian).
- [9] Phiruzyan S.A. A detailed study of seismic activity and seismotectonics of the Greater Yerevan region. // In the book Geology of the Armenian SSR, vol. X, Geophysics, 1972, pp. 154-157, (in Russian).
- [10] Stepanyan V.A. Earthquakes in the Armenian Highlands and surrounding areas. // Pub. house "Hayastan", Yerevan, 1964, (in Armenian).

THE TEMPORAL ANALYSIS OF ENGURI DAM DATASETS

Sborshchikovi A., Mepharidze E., Chelidze T., Matcharashvili T., Laliashvili L., Tepnadze D.

Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
a.sborshchikov@gmail.com

Abstract: In this research, the results of the analysis of time intervals (waiting times) between events in the seismic catalog around the area of Enguri Dam and foundation displacement data sets were investigated. A statistical approach based on calculating time series helps us to determine the dynamic picture of the research area. Here we have used different nonlinear analysis methods: DFA (Detrend Fluctuation Analysis), and MF-DFA (Multifractal Detrend Fluctuation Analysis). The research aim is to investigate the dynamics of time distribution characteristics of Enguri dam seismic and foundation displacement

Key Words: Enguri Dam, nonlinear analysis, displacement, waiting time

Introduction. It is well known that Enguri High Dam is one of the highest active dams in the world, it was built in the 1970s, in the canyon of river Enguri (West Georgia). The dam was built in the seismic active region and as many years of observation have shown, it causes tectonic and geotectonic processes during the filling-emptying of the reservoir. The dam is one of the most important and interesting subjects of scientific research. The observations of ongoing processes at the base of the Enguri Dam started in 1974. In the moments of filling-loading the reservoir, we observed movement at the base (deformation), which became the subject of very interesting research. It was found that in active periods seismicity is induced by the reservoir [1-6].

At the same time in our research, we will use seismic and other features of Enguri dam. In the frame of the research, we will investigate time intervals (waiting times) between Enguri dam seismic and foundation displacement. Modern methods of time distribution research based on traditional nonlinear concepts will be used.

Methods. In the present research, we analyzed the time interval (waiting times) between earthquakes $\Delta t = t(i+1) - t(i)$ in the seismic catalog of Enguri Dam and foundation displacement data. Nonlinear analysis has been carried out on seismic data at a 100 km radius of Enguri Dam for 1974-2017 years and foundation data for 1974-2020 years.

Long-term correlations of time series we estimated by DFA (Detrend Fluctuation Analysis), and MF-DFA (Multifractal Detrend Fluctuation Analysis) methods.

In time series analysis, detrended fluctuation analysis (DFA) is a method for determining the statistical self-similarity of the part of the system DFA scaling parameter includes full information about the correlation of time series and determines long-term correlations in non-stationary time series [7,8].

Multifractal Detrended Fluctuation Analysis (MFDFA) is a nonlinear method to investigate the long-term correlations of the power law of non-stationary time series. The MFDFA is an extension of the DFA method to detect correlations and multifractal characteristics in non-stationary time series data. The multifractal spectrum shows the variation in the dynamical structure of time series data [9,10].

Results and discussion. Nonlinear DFA analysis of time interval (waiting times) of seismic data area around 100 km of Enguri dam for 1974-2017 and foundation displacement data for 1974-2020 was carried out. The results of DFA analysis of seismic catalogs and displacement, show the long-range correlation of scaling features, changes

in dynamical structures, and the regularity of the system. DFA analysis was carried out for polynomial fitting $p=2, 3, 4$ (see Fig. 1-Fig. 2).

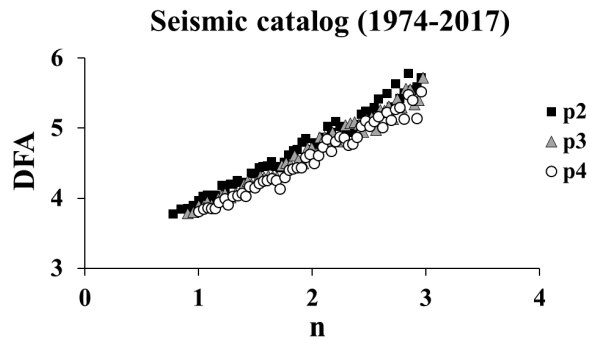


Fig. 1. DFA analysis of seismic data area around 100 km of Enguri dam for 1974-2017.

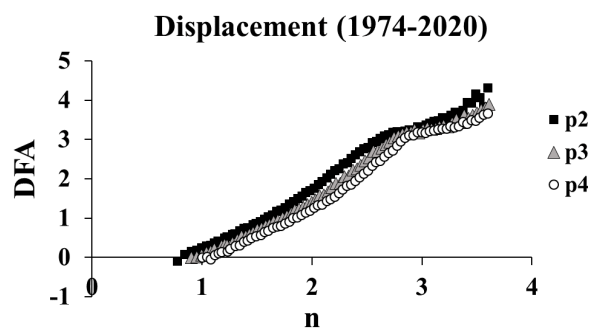


Fig. 2. DFA analysis of Enguri dam foundation displacement for 1974-2020.

From the DFA analysis of Enguri dam data sets, we can see how the structure of the dynamics changes with increasing polynomial approximation, order is disrupted, and mutual correlation weakens.

Multifractal Detrended Fluctuation Analysis (MFDFA) of long-term correlations of the power law of non-stationary of seismic data area around 100 km of Enguri dam for 1974-2017 and foundation displacement data for 1974-2020 was carried out. The variation of the multifractal spectrum was carried out for polynomial fitting $p=2$ (see Fig. 3-Fig. 4).

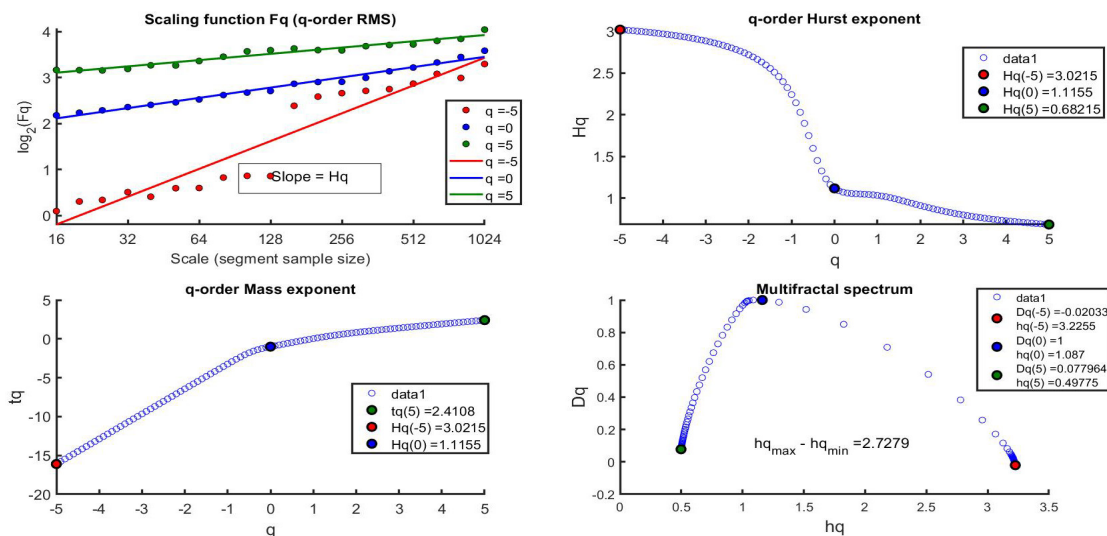


Fig. 3. MFDFA analysis of seismic data area around 100 km of Enguri dam for 1974-2017. % output variable: Hq : q -order Hurst exponent, Fq : q -order scaling function, tq : q -order mass exponent, Dq : q -order dimension.

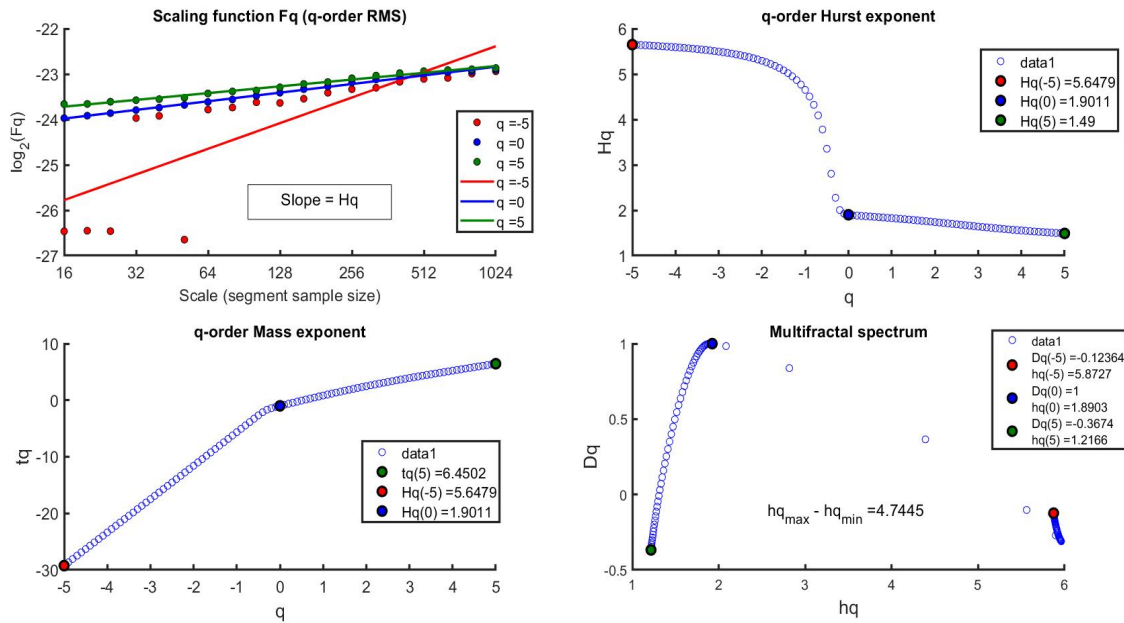


Fig. 4. MFDDFA analysis of Enguri dam foundation displacement for 1974-2020. % output variable: Hq: q-order Hurst exponent, Fq: q-order scaling function, tq: q-order mass exponent, Dq: q-order dimension.

From Fig.3-Fig.4 we can see the scaling functions Fq with corresponding regression slopes Hq, which are depend on q-order Hurst exponent The scaling functions Fq and regression slope Hq are q-independent. The q-order Hurst exponent Hq for the time series is multifractal. MFDDFA analysis consists of several steps: to first convert Hq to the q-order mass exponent (tq) and thereafter convert tq to the q-order singularity exponent (HQ) and q-order singularity dimension Dq; The plot of hq versus Dq shows us multifractal spectrum.

Conclusion. The time interval (waiting time) of seismic data area around 100 km of Enguri dam and foundation displacement have been analyzed. Results were observed for the 1974-2017 and 1974-2020 period. For nonlinear analysis, DFA and MFDDFA analysis. The results, obtained by our analysis can be important in the investigation of Enguri dam behavior and show the normalizing process of a complex system by dynamical method. The analysis of the dynamics of displacement/seismicity time series of Enguri Dam and the surrounding area allows us to establish the pattern of nonlinear dynamics in the normal regime, as well as detect the significant deviations from it

Acknowledgement. This work was supported by Shota Rustaveli National Science Foundation (SRNSF), grant FR-21-7273 - "The analysis of time and spatial distribution of world seismic catalogs and Enguri Dam datasets".

References

- [1] Chelidze T., Matcharashvili T., Javakhishvili Z., Zhukova N., Jorjiashvili N., Shengelia I., Mepharidze E., Chelidze Z., Sborshchikovi A. Temporal and Spatial Variations of Scaling Behavior of Seismic Process in Caucasus. // Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, Tbilisi, Georgia, 9(2), 2015, pp. 59-64.
- [2] Chelidze T., Matcharashvili T., Varamashvili N., Mepharidze E., Tephnadze D., Chelidze Z. Complexity and Synchronization Analysis in Natural and Dynamically Forced Stick-Slip: A Review. // In: Complexity of Seismic Time Series, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 2018, pp. 276-321.
- [3] Chelidze T., Matcharashvili T., Abashidze V., Dovgal N., Mepharidze E., Chelidze L. Time series analysis of fault strain accumulation around large dam: The case of Enguri dam, Greater Caucasus. // NATO Science for Peace and Security, Series C: Environmental Security, Springer, Netherlands, 2021, pp. 185-204.
- [4] Matcharashvili T., Hatano T., Chelidze T., Zhukova N. Simple statistics for complex Earthquake time distributions. // Nonlinear Processes in Geophysics, Göttingen Germany, 25(3), 2018, pp. 497-510.
- [5] Matcharashvili T., Chelidze T., Javakhishvili Z., Zhukova N., Jorjiashvili N., Shengelia I., Mepharidze E., Sborshchikovi A. Analysis of the Complexity of Seismic Data Sets: Case Study for Caucasus. // In: Complexity of Seismic Time Series, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 2018, pp. 3-25.

- [6] Matcharashvili T., Chelidze T., Zhukova N., Mepharidze E., Sborshchikovi A., Tephnadze D., Laliashvili L. Dynamical changes of foundation displacements and local seismic activity occurred during construction of Enguri arch dam. // 25th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Held at Near Surface Geoscience Conference and Exhibition 2019, European Association of Geoscientists & Engineers, Bunnik, Utrecht, The Netherlands, 2019.
- [7] Lan T.-H., Gao Z.-Y., Abdalla A. N., Cheng B., Wang S. Detrended fluctuation analysis as a statistical method to study ion single channel signal. // Cell Biology International, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 32, 2008, pp. 247-252.
- [8] Hurst H. E. Long-term storage capacity of reservoirs. // Transactions of the American Society of Civil Engineers, USA, 116, 1951, pp. 770-808.
- [9] Kantelhardt J. W., Koscielny-Bunde E., Rego H. A. A., Havlin S., Bunde A. Detecting long-range correlation with detrended fluctuation analysis. // Physica A, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 295, 2001, pp. 441-454.
- [10] Kantelhardt J. W., Zschiegner S. A., Koscielny-Bunde E., Havlin S., Bunde A., Stanley H. E. Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series. // Physica A, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 316, 2002, pp. 87-114.

TEMPORAL ANALYSIS OF EARTHQUAKES AND APPROXIMATION BY QUANTILE FUNCTION

****Sborshchikovi A., *Mepharidze E., *Chelidze T.**

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

***Business and Technology University, Tbilisi, Georgia*

a.sborshchikov@gmail.com

Abstract: In this research the new approach of estimation and approximation of quantile and quantile density function when we know the moments were investigated. In the role of moments, we use time intervals (waiting times) between earthquakes of the seismic catalog. Data on waiting times between earthquakes taken from the worldwide seismic catalogs were investigated. We will analyze three models of approximation and estimation: frequency moments, usual moments, and transposition moments. There are various models of quantile function estimation but the advantage of our model is that it is enough to have moments.

Key Words: Earthquake, waiting time, quantile function

Introduction. Among the results of these studies, we can name the well-known findings of temporal properties of seismicity, based on modern views on the fractal nature of tectonics, faults, and hypocenter distributions. It is in full agreement with the above view of the complex dynamic nature of the seismic process and argues that the dynamics of earthquake time are characterized by "switching" or "shifting", which is manifested by alternating periods of increased seismic activity and low seismic activity. Nevertheless, the main aspects of the problem of the time distribution of intervals between earthquakes are still unclear and sometimes the study of the issue has not been touched yet [1-3].

Nowadays the moment problem is one of the most important problems in statistics and is used in mathematics, financial mathematics, economics, insurance, etc. During the last three centuries the moment problem has been studied in various articles, but still today it is a very interesting problem in mathematics [4-6].

In this research, we will discuss the approximation and estimation of quantile function, in the case when we have the moments [7].

We can say that the moment problem has the only solution, when the system of equations $\int x^j dF(x) = \int x^j dG(x) \quad j = 0, 1, \dots$, has one solution, $F = G$.

Methods. There are various nonparametric methods of estimation of quantile function. For example, Harrell, and Davis [8] discuss statistical sums. Bolance et al., [9] and Brewer [10] in their work discuss the Bernstein polynomial quantile function estimation.

As for the new concept we will use in this research is that it has an advantage and can be used in the case when we have less information about the distribution function, for example, the values of moments.

We will combine the investigation of time intervals (waiting times) between earthquakes and approximation of the results by quantile function using modern processing methods. Modern methods of time distribution research based on traditional linear and nonlinear concepts will be used. By the analysis of waiting times series of different origins, we plan to unravel features of earthquakes' time evolution.

The project is in full compliance with the main problem of the Earth sciences. We will combine modern data analysis tools in the specially developed user software package.

For analysis, three models of approximation and estimation have been chosen. The first model we use when we have so-called frequency moments. The second model is about usual moments and the third model we use when we have transposition moments.

Results and discussion. For analysis of time interval (waiting times) of California seismic catalog. The data discussed are taken from the Southern California Local Earthquake Catalog, which can be viewed at the site (<http://www.data.scec.org/ftp/catalogs/>). Analysis for the 1932-2013 period was analyzed.

This catalog is more reliable because the collection of data was almost non-stop during this period.

After that, by using programs created on the base of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University M. Nodia Institute of Geophysics the time intervals (waiting times) between earthquake data sets were carried out.

Using waiting times data the approximate estimate of the quantile function of the first model was calculated and will compared with the famous Harrell Davis estimate. For analysis, we use the following formulas:

$$\hat{Q}_{HD}(x) = \sum_{i=1}^n X_{(i)} \int_{\frac{i-1}{n}}^{\frac{i}{n}} \beta(y, [\alpha x] + 1, \alpha - [\alpha x] + 1) dy$$

$$\hat{Q}_{\alpha}^{-}(x) = \sum_{i=1}^{n+1} \Delta X_{(i)} B_{\alpha} \left(\frac{i-1}{n}, x \right) = \sum_{i=1}^n X_{(i)} \left[B_{\alpha} \left(\frac{i-1}{n}, x \right) - B_{\alpha} \left(\frac{i}{n}, x \right) \right]$$

The behavior for different parameters for first model will be as follows (Fig.1- Fig.3).

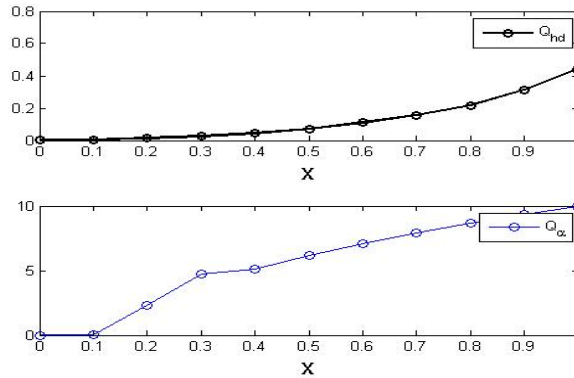


Fig. 1. Comparison of estimates of Harrell Davis and the first model (frequency moments) for the waiting time when $\alpha = 20, n = 100$

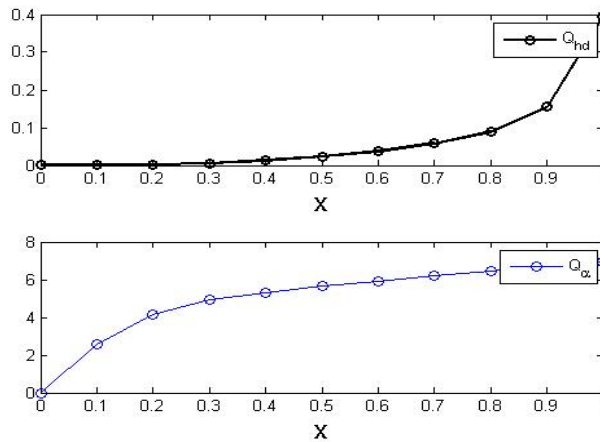


Fig. 2. Comparison of the estimates of Harrell Davis and the first model (frequency moments), for the waiting time when $\alpha = 50, n = 100$.

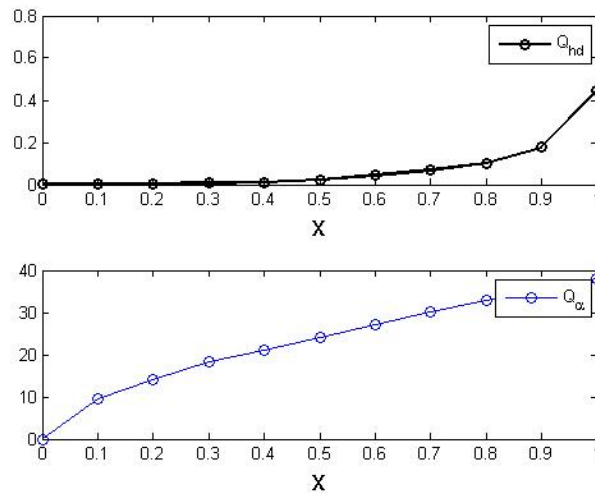


Fig. 3. Comparison of the estimates of Harrell Davis and the first model (frequency moments), for the waiting time when $\alpha = 100, n = 100$.

The results of the research will help to understand the nature of seismic processes and what most important it will contribute in the future to solve the problem of understanding the nature of strong earthquakes.

Conclusion. Our research presents the analysis of time distribution between earthquake events and uses the following datasets for approximation and estimation of quantile function. The approximation of quantile function can be used in different fields: financial mathematics, economics, insurance, etc. The research of the project is global, it includes various important tasks from different scientific fields. The research has both fundamental and practical importance because without understanding the temporal distribution of earthquakes, we cannot estimate the hazard and make serious progress in the task of understanding the nature of earthquakes.

Acknowledgment. This work was supported by Shota Rustaveli National Science Foundation (SRNSF), grant YS-21-845 - “The analysis of time and spatial distribution of earthquakes/Enguri Arch Dam case”.

References

- [1] Telesca L., Matcharashvili T., Chelidze T. Investigation of the temporal fluctuations of the 1960–2010 seismicity of Caucasus. // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., Göttingen Germany, 12, 2012, pp. 1905–1909.
- [2] Talbi A., Yamazaki F. Sensitivity analysis of the parameters of earthquake recurrence time power law scaling. // J. Seismol, Springer, Netherlands, 13, 2009, pp. 53–72.
- [3] Molchan G. Interevent time distribution in seismicity: a theoretical approach. // Pure Appl Geophys., Springer, Netherlands, 162, 2005, pp. 1135–1150.
- [4] Mnatsakanov R., Sborshchikovi A. Recovery of a Quantile Function from Moments. // Journal of Computational and Applied Mathematics, Elsevier, Netherlands, 315, 2017, pp. 354–364.
- [5] Mnatsakanov R., Sborshchikovi A. Recovery of quantile and quantile density function using the frequency moments. // Journal of Statistics and Probability Letters, Elsevier, Netherlands, 140, 2018, pp. 53–62.
- [6] Sborshchikovi A. On Nonparametric Quantile Function Estimation Using Transformed Moments. // Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, Tbilisi, Georgia, 11(3), 2017, pp. 22–27.
- [7] Cheng C., Parzen E. Unified estimators of smooth quantile and quantile density functions. // J. Statist. Plann. Inference, Elsevier, Netherlands, 59, 1997, pp. 291–307.
- [8] Harrell F.E., Davis C.E. A new distribution-free quantile estimator. // Biometrika, Oxford University Press, 69, 1982, pp. 635–640.
- [9] Bolance C., Guillen M., Nielsen, J. Transformation kernel estimation of insurance claim cost distributions. // in: M. Corazza, et al. (Eds.), Mathematical and Statistical Methods for Actuarial Sciences and Finance, Springer-Verlag, Italy, 2010, pp. 43–51.
- [10] Brewer K.R.W. Likelihood Based Estimation of Quantiles and Density Estimation, 1986.

თვითორგანიზებული კრიტიკულობა სეისმურ პროცესებში, მოდელირება და მონაცემთა ანალიზი

ამილახვარი დ., ვარამაშვილი ნ., ხარშილაძე ო.

მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
ldvarama@gmail.com

ანოტაცია. თვითორგანიზირებული კრიტიკულობამ აღმოჩენის დროიდანვე დიდი პოპულარულობა მოიპოვა მსოფლიოში. მას იყენებენ ისეთი პროცესების აღსაწერად როგორცაა: ბუნებრივ თუ სოციალურ მოვლენები, თოვლის ზვავი, მეწყრები მთებში, ფინანსური კოლაფსი, მიწისძვრები, დემოგრაფიული აფეთქებები და ა.შ. მოცემულ ნაშრომში განხილულია ამ მოვლენის გამოვლინება ისეთ ბუნებრივ პროცესებში, როგორცაა სეისმური პროცესები. შემუშავებულია კომპიუტერული, ლაბორატორიული მოდელები, რომლებშიც სხვადასხვა ანალიზის მეთოდების კომპლექსური გამოყენებით დავაფიქსირეთ პროცესების მდგომარეობების ცვლილებები.

საკვანძო სიტყვები: სეისმურ პროცესებში, მოდელირება, მონაცემთა ანალიზი.

შესავალი

წარმოდგენილი ნაშრომის მიზანია თვითორგანიზირებული კრიტიკულობის მდგომარეობის ლაბორატორიული და კომპიუტერული მოდელირება და ასევე ანალიზი. თვითორგანიზირებული კრიტიკულობის ექსპერიმენტალური შესწავლისთვის გამოყენებულია ბურიჯ-კნოპოვის მოდელი, რომელიც განხორციელდა თსუ მ.ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ბუნებრივი კატასტროფების კვლევის ლაბორატორიაში. ხელმძღვანელები აკადემიკოსი თამაზ ჭელიძე და დოქტორი ნოდარ ვარამაშვილი.

კომპიუტერული მოდელირება ჩატარდა: პ. ბაკის ქვიშის, ფრიქციული ავტორხვევის და დიტრიხ-რუინას მოდელზე. მონაცემების ანალიზისთვის გამოვიყენეთ კომპლექსური მიდგომა: სპექტრის ვეივ-ლეტ ანალიზის მეთოდი, ფრაქტალური თვისებების ანალიზი-კორელაციური ფრაქტალური განზომილებების შეფასება. არასტანდარტული მეთოდები: R/S ანალიზი, ჰარსტის პარამეტრის შეფასება, რეკურენტული დიაგრამების მეთოდი (RP), რეკურენტული რაოდენობრივი ანალიზი (RQA).

თვითორგანიზებული კრიტიკულობა და მისი კომპიუტერული მოდელირება

რა შეიძლება ქონდეთ საერთო ისეთ ბუნებრივ თუ სოციალურ მოვლენებს როგორცაა: თოვლის ზვავი, მეწყრები მთებში, ფინანსური კოლაფსი, მიწისძვრები, ცუნამები? მათ გააჩნიათ განსხვავებული ინტენსივობა, დროის და ფართობის დაფარვის არეალი, არ გააჩნიათ დამახასიათებელი დროითი და სივრცითი მასშტაბები. ასეთ პროცესებს ახასიათებს ფრაქტალურობა. გააჩნიათ მეხსიერების ეფექტი, კატასტროფული ეფექტი დამოკიდებულია წინამორბედ მოვლენებზე და არა მხოლოდ ბოლო სტიმულირებაზე. ასე გამოჩნდა განსაზღვრება თვითორგანიზირებული კრიტიკულობის შესახებ, რომელიც პირველად შემოგვთავაზა პ.ბაკმა (Self organized criticality, SOC), მისი მოსაზრებით იგი არის ერთ-ერთი მექანიზმი, რომლითაც ბუნებაში ყალიბდებიან რთული პროცესები, რომლებიც გვამლევენ რთულ არასტაციონალურ სიგნალებს.

SOC ვლინდება სისტემებში მაშინ, როდესაც რომელიმე პარამეტრის ფლუქტუაციის ამპლიტუდა აღწევს სისტემის სტაბილურობის ზღვარს. მოცემული SOC პროცესი ნელა ორგანიზდება და იგი ვლინდება არაწონასწორულ სისტემებში სადაც თავისუფლების ხარისხი დიდია. SOC სისტემას ახასიათებს

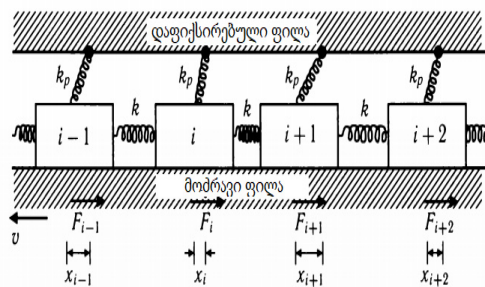
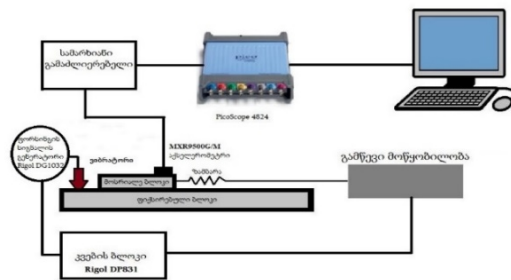
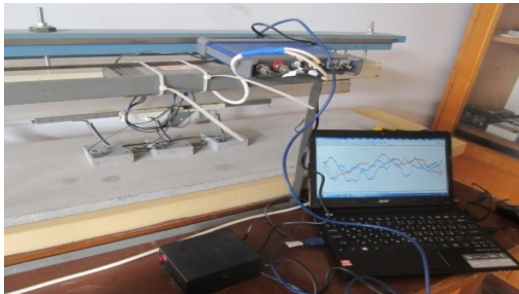
ზვავური პროცესი, რაც ნიშნავს, რომ ერთმა მოვლენამ შეიძლება გამოიწვიოს ჯაჭვური რეაქცია მცირე და დიდი ზომის ზვავების სახით, სისტემას ახასიათებს „სტაბილური“ კრიტიკულობა.

SOC-ის გამოვლინების მაგალითს წარმოადგენს გადაბმული ფილების მოდელი, რომელიც შემოთავაზებულ იქნა მიწისძვრების აღსაწერად (Burridge-Knopoff model). მოცემულ მოდელში გეოლოგიური წანაცვლება აღიწერება ერთგანზომილებიანი ერთმანეთთან დაკავშირებული ბლოკების მესრით, რომლებიც მდებარეობენ ორ ფილას შორის.

ბლოკების მოძრაობის განტოლება შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\dot{x}_i = k(x_{i+1} + x_{i-1} - 2x_i) - k_p x_i - F(v - \dot{x}_i)$$

m-ბლოკის მასა, k-ბლოკებს შორის ზამბარის სიხისტე, k_p - ზედა მოძრავ ფილასთან ზამბარის სიხისტე, x_i -ბლოკების წანაცვლება ფარდობითი წონასწორული მდგომარეობიდან.



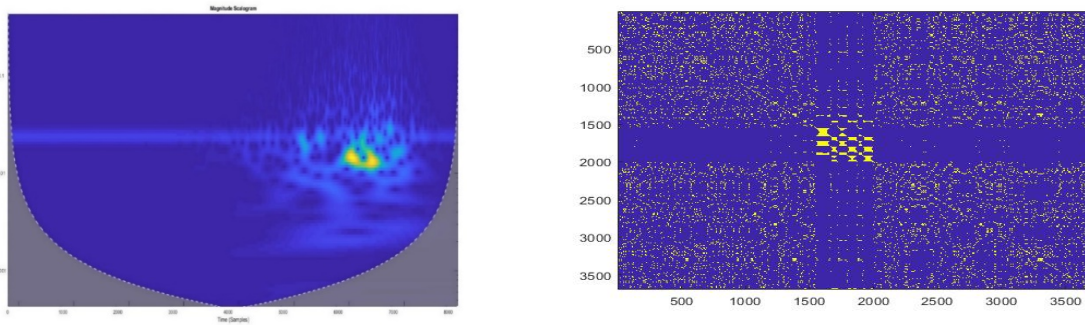
იმის გამო, რომ ისეთი მოვლენების სიგნალი როგორცაა მიწისძვრა არის ძალიან რთული, მათგან ინფორმაციის ამოსაღებად საჭიროა გამოვიყენოთ სტანდარტული მეთოდები, ასევე თანამედროვე მეთოდები რომლებიც ახასიათებენ სიგნალის ინფორმაციულ სირთულეს. ჩვენი მიზანია შევხედოთ მოსულ სიგნალს სხვადასხვა კუთხით და აღწეროთ ის არა ერთი არამედ მრავალი პარამეტრის კომპლექსით. დროითი მწკრივები შეიძლება დახასიათდეს შემდეგი მეთოდებით:

- სტანდარტული მეთოდები - დახასიათება სტატისტიკური მომენტებით, სიგნალის კორელაციური მახასიათებლები (ავტოკორელაცია, ავტოკორელაციური ფუნქცია, კოეფიციენტები), სპექტრალური მეთოდები (სიმძლავრის სპექტრი, ფურიეს სპექტრის შეფასება), ვეივლეტ ანალიზი.
- სიგნალების ფრაქტალური ანალიზი - ჰარსტის ანალიზი (R/S ანალიზი), ფრაქტალური განზომილება (ყველაზე პოპულარულია კორელაციური განზომილების გამოთვლა), მულტიფრაქტალური ანალიზი, განაწილების კუდის სიმძიმის ინდექსის გამოთვლა და ასე შემდეგ.
- ინფორმაციული სირთულე - რეკურენტული დიაგრამები, რეკურენტულობის ზომა, დეტერმინიზმის ზომა, ლამინარობის ზომა, ენტროპია, აპროქიმაციული ენტროპია, ვეივლეტ ენტროპია და ასე შემდეგ.

ლაბორატორიული ექსპერიმენტები

მ.ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ლაბორატორიაში ტარდება ექსპერიმენტები ბურიჯ-კნოპოვის მოდელის საფუძველზე. აქ წარმოდგენილია ექსპერიმენტები ერთი და სამი ბაზალტის ფილისათვის. ექსპერიმენტების რეგისტრაცია მიმდინარეობდა აქსელერომეტრების და პიეზოსენსორების საშუალებით. ერთი ფილის შემთხვევაში მასზე მიმაგრებული იყო სამი აქსელერომეტრი და ხდებოდა

აჩქარების x,y და z კომპონენტების ჩაწერა. ფილის გაწევის სიჩქარე იყო 1 მმ/წმ. (გაწევის სიჩქარე ჩვენს ექსპერიმენტში შეგვიძლია ვცვალოთ 01 მმ/წმ - დან 1 მმ/წმ - მდე).

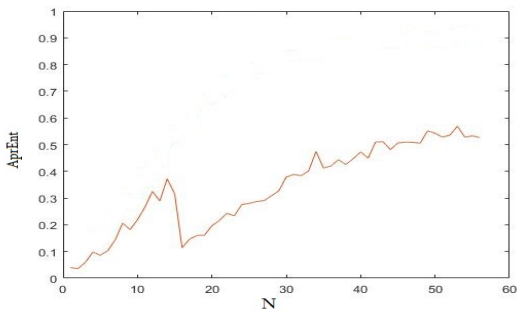


ექსპერიმენტები ჩატარდა სამი ფილის შემთხვევაშიც. თითოეულ ფილაზე მიმაგრებული იყო ერთი აქსელერომეტრი, რომელიც ზომავდა აჩქარების x კომპონენტს. აჩქარების რეგისტრაცია მიმდინარეობდა 8-არხიანი ოსცილოსკოპის (PicoScope4824) საშუალებით. ექსპერიმენტებში გამოიყენებოდა სამლერძიანი MXR9500G/M აქსელერომეტრები და პიეზოსენსორები. თითოეული მოსრიალე ფილის მასა ≈ 335 გ, ზამბარის სიხისტეები $k_x \approx 3606$ მ/მ და $k_y \approx 155$ მ/მ. გაწევის სიჩქარე $v \approx 1$ მმ /წმ.

მიღებული შედეგები და მათი ანალიზი

ქვემოთ მოყვანილია მიღებული შედეგები. განვიხილეთ როგორც კომპიუტერული, ასევე ლაბორატორიული მოდელები, შედარებისთვის და მოდელების შესამოწმებლად ასევე განვიხილეთ კობეს 1995 წლის მიწისძვრის ჩანაწერი.

წარმოგიდგინთ აპროქსიმაციული (მსგავსების) ენტროპიას, სპექტრის ვეივლეტ ანალიზს და რეკურენტულ დიაგრამს.



აპროქსიმაციულმა ენტროპიამ ქაოსურ მდგომარეობაში გადასვლამდე გვიჩვენა სისტემის მოწესრიგება.

სპექტრის ვეივლეტ ანალიზში ვხედავთ მაღალ ამპლიტუდური ფლუქტუაციების დაწყებამდე ხდება დაბალამპლიტუდური ფართო სპექტრის ფლუქტუაციების გენერირება (ჩვენ მას ჩაჩუმების ეფექტს ვუწოდებთ).

რეკურენტული დიაგრამები ყველაზე ცხადად გვიჩვენებენ სისტემის მოწესრიგებულობას და ქაოსურ სტრუქტურას. ნაჩვენებია გადასვლა დასაწყის უზანსა (სადაც ჯერ

კიდევ სიმშვიდეა) და შემდეგ უზანს შორის, სადაც უკვე დაიწყო მიწისძვრა.

შეჯამება

ჩვენ მიერ განხილული მოდელების ანალიზი გვამლევს ექსპერიმენტალური მონაცემებში თვითორგანიზირებული კრიტიკულობის მდგომარეობის მახასიათებლებს. მსგავსობის ანუ აპროქსიმაციული ენტროპიის შეფასებამ გვიჩვენა თვითორგანიზებული კრიტიკულობის წინ სისტემის მოწესრიგება. სტრუქტურისა და ეფექტის განვიხილავთ როგორც კატასტროფული მოვლენის პროგნოზის საშუალებას. მოცემული ეფექტები დაფიქსირებულია როგორც ლაბორატორიულ, ასევე კომპიუტერულ მოდელებში.

ძლიერი მოვლენების წინ გარკვეული დროის ინტერვალში ვეივლეტ ამპლიტუდები მცირდება და იშლება გარკვეულ სიხშირულ დიაპაზონში, ანუ ხდება სიგნალის ენერჯის გადანაწილება სიხშირეების ფართო ზოლში, რაც იწვევს სისტემაში ფლიკერ ხმაურის გენერირებას. ამ ეფექტს შეიძლება ეწოდოს სისტემაში „ბუნების გარინდება“. ამრიგად, ვეივლეტ ანალიზმა გამოავლინა „გარინდების“ ეფექტი, რეკურენტულმა დიაგრამებმა და აპროქსიმაციულმა ენტროპიამ გვიჩვენეს, რომ ამ დროს ხდება პროცესის სტრუქტურისა.

მიღებული მოდელები ადეკვატურად ასახავენ ექსპერიმენტალურ და ბუნებრივი სისტემების სირთულეს, მაგრამ თვითორგანიზირებული კრიტიკულობის ფიზიკური მექანიზმის დასადგენად საჭირო ხდება დამატებით უახლესი ანალიზის მეთოდების გამოყენება, როგორცაა სიგნალის ემპირიულ მოდელად დეკომპოზიციის მეთოდი.

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტის N FR/258/9-160 მხარდაჭერით

ლიტერატურა

- [1] Varamashvili N., Chelidze T., Devidze M., Chelidze Z., Chikhladze V., Surmava A., Chargazia Kh., Tefnadze D. Mass-movement and seismic processes study using Burridge-Knopoff laboratory and mathematical models. // Journal of Georgian Geophysical Society, v. 18, 2015.
- [2] Varamashvili N., Chelidze T., Amilakhvari D., Dvali L. Laboratory modeling of landslide and seismic processes triggering. // Journal of Georgian Geophysical Society, v. 19, 2016.
- [3] Varamashvili N., Devidze M., Chelidze T. Laboratory models of seismic and mass-movement process triggering. // IUGG General Assembly, 2015. <http://www.iugg2015prague.com/>.
- [4] Bak P., Tang C., Wiesenfeld K. Self-organized criticality: An explanation of 1/f noise. // Phys. Rev. Lett. 59, 1987, pp. 381-384.

SELF-ORGANIZED CRITICALITY IN SEISMIC PROCESSES, MODELING AND DATA ANALYSIS

Amilakhvari D., Varamashvili N., Kharshiladze O.

Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia ldvarama@gmail.com

Abstract: Self organized criticality has gained great popularity in the world since its inception. It is used to describe processes such as natural or social events, avalanches, landslides, financial ruin, earthquakes, demographic explosions, etc. This article will discuss the manifestation of this phenomenon in natural processes such as seismic processes. We have developed computer, laboratory models, where we used complex methods of analysis we observed changes in process states.

Key words: seismic processes, modeling, data analysis.

VARIATION OF GEOPHYSICAL PARAMETERS DURING PREPARATION OF SEISMIC EVENTS IN GEORGIA (2023)

Jimsheladze T., Melikadze G., Kobzev G., Tchankvetadze A.

Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
jimsheladzetamuna@gmail.com

Abstract. The article contains information about several hydrodynamic and geomagnetic anomalies observed during February 2023 - October 2023 on the multiparametric monitoring network of M. Nodia Institute of Geophysics. Data were analyzed by the special program which gives possibility to exclude the influence of geological factors by the common value of tidal variations. Was analyzed reaction of parameters to the earthquake preparation process. More than 20 years were operating a special network of hydro-geodynamical (water level, Atmosphere pressure and air temperature) observation on the territory of Georgia [1,2,3]. Ten deep boreholes located basically on the main geo-plate and open deep aquifers. These wells as sensitive strain-meters recorded all kinds of deformation caused by exogenous (atmospheric pressure, tidal variations and season variation), as well as endogenous processes. During observation on the territory of Georgia has observed various anomalies by water level before seismic events [4,5]. Revealing of the mechanism of interrelation between the deformation processes, forestall strong earthquakes, and a hydrodynamic variation of underground waters, would allow to explain such preliminary behavior of hydrodynamic effects and to develop scientifically proven methods of the forecast of earthquakes.

Key words: Hydrodynamic field, earthquake indicator.

The article contains information about several hydrodynamic anomalies observed during earthquake (2023, $Mag > 4$) in Georgia on the multiparametric monitoring network of M. Nodia Institute of Geophysics. Data were analyzed by the special program which gives possibility to exclude the influence of geological factors by the common value of tidal variations. Was analyzed reaction of parameters to the earthquake preparation process.

Measuring on all stations is taken every one minute. For data recording we use datalogger XR5-SE-M and the program LogXR. Data transferring is made by GSM modules Siemens and Wavecom-type. Data processing and figures creation is realized by program Stations Many [6].

Therefore, were analyzing the value of stress field by hydrodynamical parameters [20-21] and geomagnetic field variations during preparation of several earthquake processes on the territory of Caucasus ($Mag > 4$ in the period from 01.02.2023 to 14.10.2023) were calculated and analyzed:

1. Earthquake in City Mtskheta, Village Lelubani. 24.09.2023 04:00, $Mag = 4.1$, Depth = 10km.

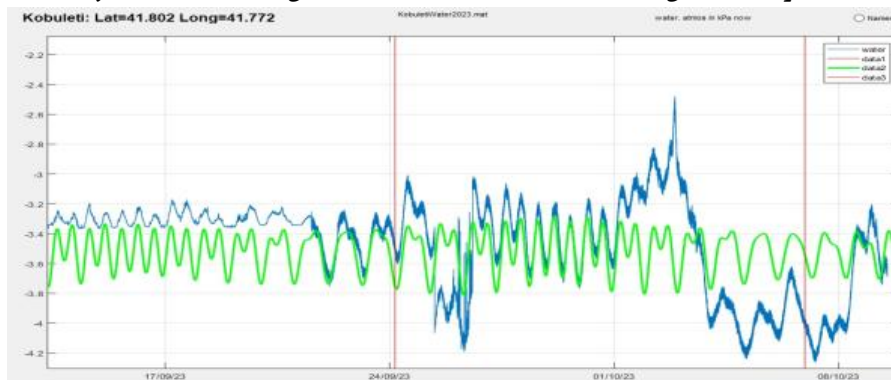


Fig. 1. Water level and tidal variations at the Kobuleti borehole. Vertical line marks an earthquake.

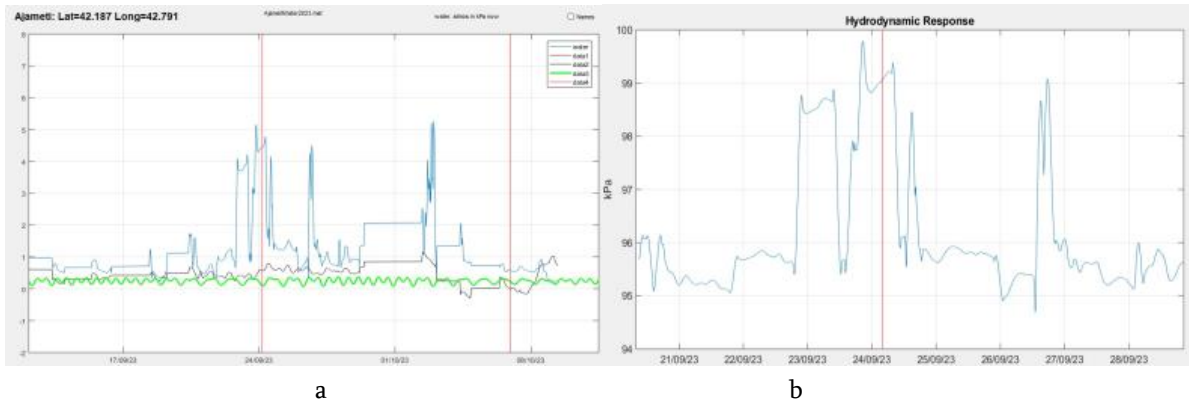


Fig. 2. a - Water level, atmospheric pressure and tidal variations at the Ajameti borehole. Vertical line marks an earthquake. b- Hydrodynamic Response

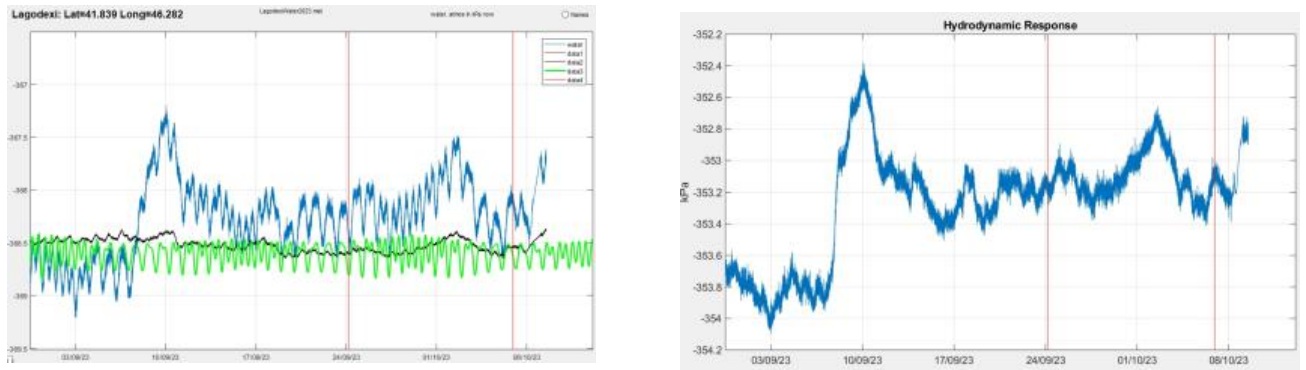


Fig. 3. a - Water level, atmospheric pressure and tidal variations at the Lagodekhi borehole. Vertical line marks an earthquake. b- Hydrodynamic Response

The first of them - "Kobuleti", is located 263 km from the epicenter, the second, "Ajameti", is located 184 km from the epicenter and Lagodekhi - 110 km from the epicenter.

The earthquake of 24 September 2023 (Mag- 4, Mtskheta), anomalies were observed at Dusheti Geomagnetic Observatory.

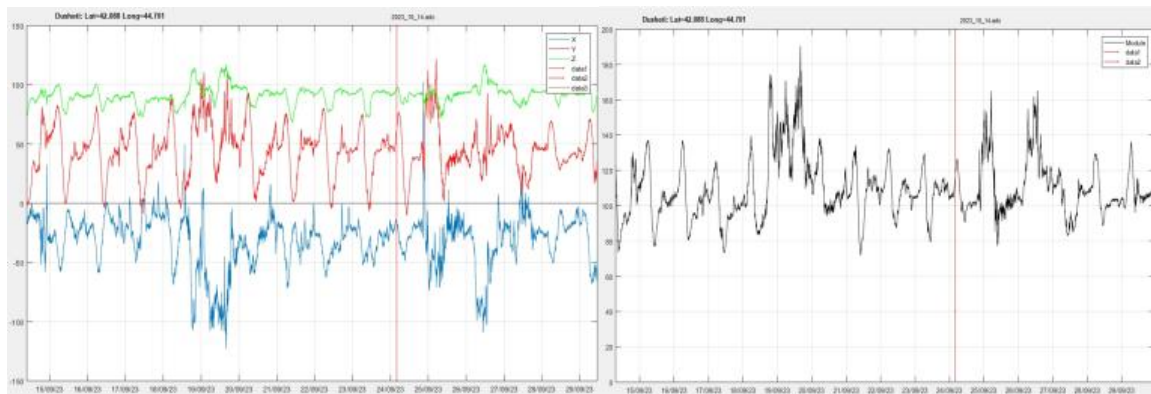


Fig. 4. a- Variation of x,y,z components of the magnetic field at the Dusheti Station. b- Variation of the module value.

Anomaly was revealed on "Lagodekhi", and "Nakalakevi" stations before 06 October 2023 earthquakes, 14 days earlier. Anomalous change of water level can be seen on the graph (Fig.1, and Fig. 2 a, b, Fig. 3. a, b and Fig. 4. a, b). The duration of the anomalous period is fixed on figure.

2. Earthquake in City Telavi – Village Shakriani. 06.10.2023 22:28 Mag=4.1, Depth=10 km.

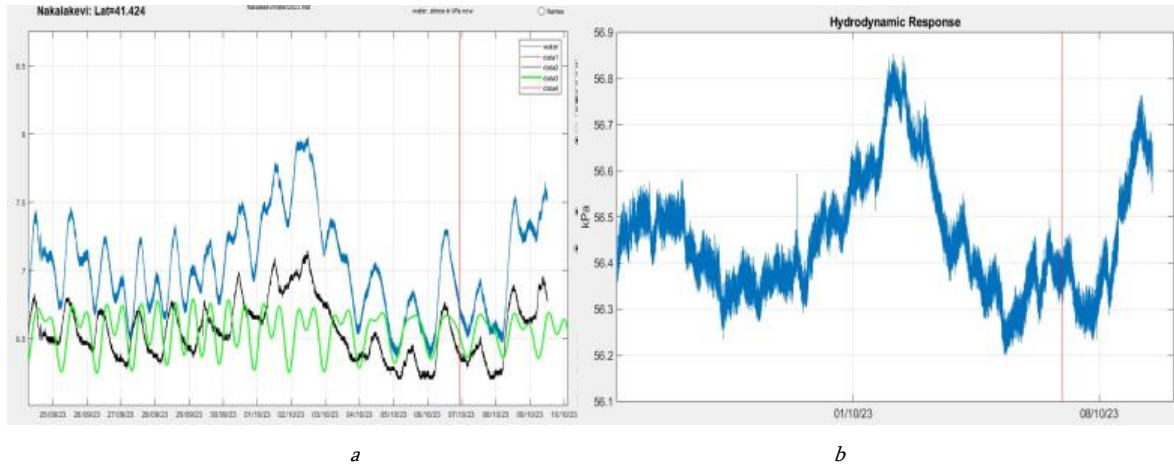


Fig. 5. a - Water level, atmospheric pressure and tidal variations at the Nakalakevi borehole. Vertical line marks an earthquake. b- Hydrodynamic Response.

In Nakalakevi, which is 195 km away from the epicenter, we observed an anomaly that continued for 5 days. The duration of the anomalous period is fixed on figure.

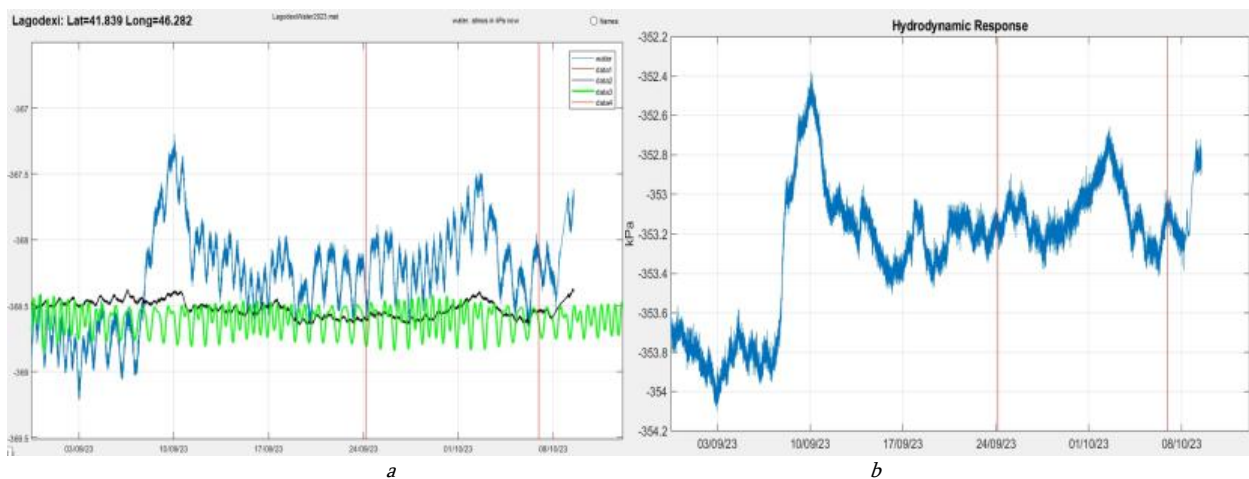


Fig. 6. a - Water level, atmospheric pressure and tidal variations at the Lagodekhi borehole. Vertical line marks an earthquake. b- Hydrodynamic Response.

Anomaly was observed in Lagodekhi borehole 5 days earlier before event of 06 October 2023. The Earthquake occurred in 60 km far from a station.

Conclusions:

Results of data analysis demonstrate the informatively of water level as an indicator of tectonic activity. Variations in hydrodynamic parameters are caused by the earth stress. During normal period it change according tidal variation and has “background” value. Before seismic event character of variation changed above “background” value, as indicator of tectonic activity. During the observed time period were fixed earthquake with Magnitude >4, between 50-200 km from the station, occurred on the territory of Caucasus.

References

[1] Melikadze G., Kobzev G., Kapanadze N., Machaidze Z., Jimsheladze T. Analyze of underground water regime factors for determine tectonic component. // LEPT Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Collection articles, vol. XYI. Proceeding of Conference Dedicate to the 100-th Anniversary of Professor Josef Buachidze. Tbilisi. 2007

- [2] Kartvelishvili K., Melikadze G., Kobzev G. Influence of atmosphere pressure and tidal variation of gravity of the hydrosphere. // Mikheil Nodia Institute of Geophysics, Proceedings of the Institute Geophysics, Volume 65, page 1 69 -173, 2010
- [3] Kobzev G., Melikadze G. Methods of hydrogeodynamical analysis for revealing earthquakes precursor. // Workshop materials "Exploration and exploitation of groundwater and thermal water systems in Georgia, Tbilisi, Georgia, 2021, pp. 60-69.
- [4] Chelidze T., Matcharashvili T., Melikadze G. Earthquakes' Signatures in Dynamics of Water Level Variations in Boreholes. // In: Synchronization and Triggering: from Fracture to Earthquake Processes, Eds.V.de Rubeis, Z. Czechowski, R. Teisseyre, Geoplanet: Earth and Planetary Sciences, Volume 1, Part 3, 2010, 287-304, DOI: 10.1007/978-3-642-12300-9_20, Springer.
- [5] Jimsheladze T., Kobzev G., Melikadze G., Zhukova N. Geodynamical Impact on the Water Level Variations in the Boreholes. // Workshop materials "Exploration and exploitation of groundwater and thermal water systems in Georgia, 69-83, 2010, Tbilisi, Georgia
- [6] Melikadze G, Kobzev G., Jimsheladze T. Some Methods of Analyze Geodynamic Infuct on the Deep Aquifare. // Journal of Georgian Geophysical Society 01/2014; Physics of Solid Earth, v.17a (Issue (A)):47-52.

საინჟინერო საზღვრის დადგენის ერთი მეთოდის შესახებ

გოგიაშვილი ჯ., დიასამიძე შ., კიტოვანი დ.

მიხეილ ნოდინას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
Kitovani56@top.ge

ანოტაცია. შემოთავაზებული მეთოდი საშუალებას იძლევა სეისმოლოგიური მონაცემების საფუძველზე აგებულ იქნეს გარდამტეხი სიბრტყე, დაკვირვების პუნქტების ქვეშ.

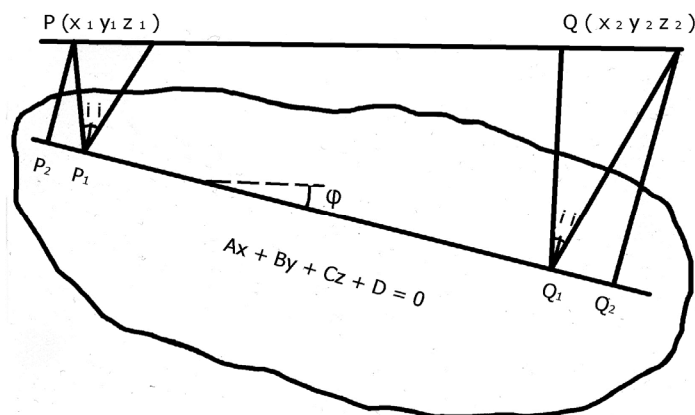
საკვანძო სიტყვები: სეისმოლოგია, სეისმური საზღვარი, დრეკადი ტალღები.

შესავალი

დედამიწის სიღრმული აგებულების დადგენა ყველაზე დიდი სიზუსტით, სეისმური მეთოდებით არის შესაძლებელი. ამიტომ სეისმომიებას ენიჭება პრიორიტეტი დედამიწის ქერქის შესწავლისას. მაგრამ ჯერ ერთი: ყველა ე.წ. კლასიკური მეთოდი საკმაოდ შრომატევადი და ძვირადღირებულია და მეორე: მათი ჩატარება საქართველოში, რომელიც რთული რელიეფით, მოსახლეობისა და სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების მაღალი სიმჭიდროვით ხასიათდება, სათანადო დეტალობით და მაშასადამე სიზუსტით პრაქტიკულად შეუძლებელია. ამიტომ ჩვენი მიზანი იყო ისეთი მეთოდის შემუშავება, რომელიც არ მოითხოვდა საექსპედიციო სამუშაოებს და მათთან დაკავშირებულ მნიშვნელოვან ხარჯებს და გამოიყენებდა რეგიონული სეისმური სადგურების მონაცემებს.

მეთოდის აღწერა

მეთოდის არსი მდგომარეობს შემდეგში: თუ გვაქვს ორი სხვადასხვა სიჩქარის მქონე გარემო და მოცემულია დრეკადი ტალღების წყარო (ერთი ან რამოდენიმე), მაშინ შესაძლებელია აღძრული ტალღების დაკვირვების პუნქტების ქვეშ აიგოს სიბრტყე, რომელიც იქნება ამ ორი გარემოს გამყოფი ანუ სეისმური ტალღების გარდამტეხი ზედაპირი და რომ ის იქნება ერთადერთი.



ნახ.1. საკვლევი გარემოს გეომეტრია

ვთქვათ გვაქვს ორფენიანი გარემო, მოცულობითი ტალღების გავრცელების შესაბამისი სიჩქარეებით V_1 და V_2 . მათი გამყოფი ზედაპირი კარგი მიახლოებით შეგვიძლია შევუსაბამოთ სიბრტყეს, რომლის განტოლებაა $Ax + By + Cz + D = 0$. როგორც ვხედავთ გვაქვს 6 უცნობი: A, B, C, D, V_1 და V_2 . შესაბამისად, ამოცანას რომ ქონდეს ერთადერთი ამონახსნი, საჭიროა 6 დამოუკიდებელი განტოლება, ე.ი. თუ გვაქვს ტალღების

აღმზრის 1 წყარო, უნდა გვქონდეს დაკვირვების მინიმუმ 6 პუნქტი მაინც, ხოლო 2 წყაროს შემთხვევაში საკმარისია დაკვირვების 3 პუნქტი.

დავაკავშიროთ სიბრტყის განტოლებაში შემავალი ცვლადები A,B,C,D გარემოს გეომეტრიასთან.

ვთქვათ $P(x_1, y_1, z_1)$ არის წყაროს კოორდინატები, ხოლო $Q(x_2, y_2, z_2)$ დაკვირვების პუნქტია. მაშინ მათ

შორის მანძილი იქნება: $PQ = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$

ნორმალის განტოლება მოცემული წერტილიდან სიბრტყემდე გამოისახება ასე:

$$PP_2 = (Ax_1 + By_1 + Cz_1 + D) / (\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}) \quad QQ_2 = (Ax_2 + By_2 + Cz_2 + D) / (\sqrt{A^2 + B^2 + C^2})$$

$$PP_1 = PP_2 / \cos i = PP_2 \sqrt{1 - (V_1/V_2)} \quad QQ_1 = QQ_2 / \cos i = QQ_2 \sqrt{1 - (V_1/V_2)} \quad V_1/V_2 = \sin i$$

სადაც V_1 არის I გარემოს საშუალო სიჩქარე, ხოლო V_2 კი II გარემოს, ანუ სამიებელი სიბრტყის საზღვრითი სიჩქარე.

$$P_1 Q_1 = P_2 Q_2 - P_2 P_1 - Q_2 Q_1$$

$$P_2 Q_2 = P Q \cos \phi \quad \cos \phi = \sqrt{1 - \sin^2 \phi}$$

სადაც ϕ არის გარდამტეხი სიბრტყის დახრის კუთხე.

$$\sin \phi = (A(x_2 - x_1) + B(y_2 - y_1) + C(z_2 - z_1)) / (PQ \sqrt{A^2 + B^2 + C^2})$$

$$\text{სეისმური წანაცვლებები } P_2 P_1 = PP_1 \operatorname{tgi} \quad Q_2 Q_1 = QQ_1 \operatorname{tgi}$$

ხოლო სეისმური ტალღის პირველი შემოსვლის დრო განისაზღვრება ფორმულით:

$$t = (PP_1 + QQ_1) / V_1 + P_1 Q_1 / V_2$$

დასკვნა

სეისმური ტალღების წყაროდ მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ ტირნიაუზის (ჩრდილო კავკასია, იალბუზის მიმდებარე რაიონი) და კაზრეთის კარიერებზე (გეოგრაფიული კოორდინატები შესაბამისად $\varphi=43^\circ 24'$ $\lambda=42^\circ 50'$ და $\varphi=41^\circ 28'$ $\lambda=44^\circ 45'$) წარმოებული აფეთქებები. (აფეთქებების რეგულარობა, ფეთქებადი მუხტის საკმაო სიდიდე, რის გამოც მათი დაფიქსირება ხერხდებოდა საქართველოს თითქმის ყველა სეისმური სადგურის მიერ, აფეთქების მომენტის და კოორდინატების ზუსტი განსაზღვრა და სხვა).

ამ კარიერებზე წარმოებული აფეთქებების რეგისტრაცია ხდებოდა იმ დაახლოებით 40 სეისმოსადგურის მიერ, რომლებიც არც თუ შორეულ წარსულში ფუნქციონირებდნენ საქართველოში, შესაბამისად, სეისმური სადგურების ქვეშ (სეისმური წანაცვლების გათვალისწინებით) შესაძლებელია გარდამტეხი სიბრტყის დადგენა.

ლიტერატურა

- [1] Епинатьева А.М. Физические основы сейсмических методов разведки. // М., Изд-во МГУ, 1970.
 [2] Погорелов А.В. Аналитическая геометрия. // М., Изд-во "Наука", 1978.

A METHOD OF ESTABLISHMENT OF A SEISMIC BOUNDARY

Gogiashvili J., Diasamidze Sh., Kitovani D.

Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
 Kitovani56@top.ge

Abstract. The essence of the method is the following: if we have two layers of various velocity, and several sources of elastic waves and registration points of generated waves are given, than it is possible to construct a plane under these points.

Key words: seismology, seismic boundary, elastic waves.

REGULARITIES OF MUDFLOWS AND FLOODS FORMATION IN ARMENIA

Boynagryan V.R.

Yerevan State University, Yerevan, Armenia
vboynagryan@ysu.am

Abstract. The greatest prevalence of mudflows in Armenia is observed in its north-eastern and south-eastern regions, as well as on the south-western and southern slopes of the Aragats and western slopes of the Gegham volcanic massifs. This pattern is related to the lithological composition of rocks, their filtration coefficient, the steepness of the slopes and the degree of their exposure. After 2011, the formation of mudflows in Armenia decreased due to a decrease in precipitation. However, the frequency of repeated floods on rivers flowing through settlements has increased due to the littering of the channels of local watercourses.

Key Words: Armenia, mudflow, flood, river bed

Introduction. Mudflows are one of the formidable natural phenomena that cause enormous damage to anthropogenic objects and are often accompanied by numerous human victims. In the last few years, significant climate changes have been observed everywhere in the world, which is manifested by an increase in the number and frequency of catastrophic mudflows associated with the precipitation of several monthly precipitation norms in a short period of time and, accordingly, with sharp rises in the water level in rivers [1-6]. Destructive mudflows in Tajikistan (April 2014), Kyrgyzstan (late May 2016), Colombia (April 1, 2017) were accompanied by numerous destructions and human victims (news.rambler.ru/disaster/36502399). Heavy precipitation in the summer of 2022 provoked landslides and the formation of mudflows in India, Pakistan, Switzerland, Peru, Ecuador, Chile, Georgia (village of Shovi, August 4, 2023) ([www.youtube.com.watch](https://www.youtube.com/watch)) and other mountainous regions.

The risk of mudflows is quite high in Armenia, based on the mountainous nature of the relief of the republic, frequent heavy rains (often with hail), active physical weathering of rocks and accumulation of unstable loose material on the slopes as a source of solid component for mudflows.

The timing of mudflows in Armenia to certain areas. The greatest prevalence of mudflows in Armenia is noted in its north-eastern and south-eastern regions (the southern slopes of the Viraayots mountains, the south-western slopes of the Tsakhkunyats and Sevan ridges, the southern slopes of the Bazum, Megrin, Bargushat, spurs of the Zangezur ridges), as well as on the south-western and southern slopes of the Aragats volcanic massif.

According to geological, geomorphological and climatic conditions in the republic, the northern, western, southern and south-eastern mudflow districts are distinguished. Mudflows are most active in the first, second and fourth districts, where poorly permeable rocks (filtration coefficient from less than $5 \cdot 10^{-5}$ to 0.5 m/day) are common within the folded-block ridges: various clays, clay shales, dense sandstones, limestones. On the exposed slopes of the southern exposure (their angle of inclination is in most cases 20-30°), intensive physical weathering of these rocks and the accumulation of loose material in a rather unstable state occurs. Therefore, with heavy summer rains or stormy snowmelt in the spring, this loose material is easily demolished from the slopes and forms a mudflow component. Mudflows are usually formed on the slopes of the folded-block ridges [7].

The volcanic massifs of Armenia are characterized by the presence of fractured basalts, andesite-basalts, porous tuffs (the filtration coefficient of these rocks is quite high – up to 1 cm/ sec) and relatively more gentle slopes (mostly 10°). Surface runoff is weak here, so mudflows within volcanic massifs are formed mainly in their summit belt, where a lot of precipitation falls (hail showers are frequent), a powerful snow cover is formed up to

2.5-3 m high, which in some years begins to melt violently, and accumulations of pyroclastic material (volcanic sand, slag, perlite, etc.). Such a mudflow site is the Selav-Mastara – one of the fairly active watercourses of the first category of mudflow hazard with a repeatability of mudflows in 3-10 years on the southern slope of the Aragats massif. In volcanic areas, water-stone mudflows are more often formed [8].

The Getar River originates from the western slope of the Gegham volcanic massif, known for its mudflow activity and especially for the catastrophic mudflow of 1946, which caused significant damage to the Armenian capital Yerevan. A mudflow wave with a height of 4.9 m brought blocks up to 1.5-3.0 m in diameter to Yerevan, and the volume of the mudflow exceeded 1 million m³. Houses and bridges were destroyed; mud-stone mass flooded gardens and vegetable gardens (see Fig. 1).



Fig. 1. Mudflow of 1946 in Yerevan.

From the mid-90s of the XX century to the first decade of the XXI century in Armenia, according to the Ministry of Emergency Situations of the republic, 142 cases of heavy rains and 380 cases of hail were noted, which caused the formation of 184 cases of mudflows and 193 cases of floods. At the same time, if in the period from 1994 to 2001 the total annual number of mudflows in the republic did not exceed 5 (and in 1996 and 2000 there were no cases of mudflow formation at all), then since 2002 mudflow activity has sharply increased, especially in the Lori and Aragatsotn regions (see Table 1).

Table 1. The number of cases of mudflows in Armenia during the period from 1994 to 2011.

Area	1994-2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	The amount
Ararat	0	0	2	0	0	0	1	1	1	1	0	6
Armavir	1	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	5
Shirak	2	0	5	3	3	3	1	0	2	3	1	23
Aragatsotn	3	0	6	4	3	2	9	0	3	1	1	32
Lori	2	3	6	0	0	1	4	0	13	3	3	35
Tavush	0	1	3	0	0	0	1	0	0	1	1	7
Syunik	3	0	1	0	2	0	0	0	3	4	0	13
Gegharkunik	5	1	5	7	0	0	2	0	1	2	0	23
Vayots Dzor	3	2	1	0	4	1	5	2	2	1	1	22
Kotayk	1	2	0	4	1	0	1	0	1	1	0	11
Yerevan	0	0	0	0	2	1	0	2	2	0	0	7
The amount	20	9	29	19	15	8	24	5	31	17	7	184

After 2011, mudflow activity in the republic began to decline as a result of a decrease in atmospheric precipitation. But floods on the rivers flowing through the settlements have become more frequent. With short-term intense downpours, the water does not fit in the beds of small rivers and floods the streets of settlements. So, in June 2015, heavy rains caused flooding of certain sections of Gyumri: Jivani Street and the temporary parking quarter near the bus station. The local river overflows its banks after every heavy rain. The reason is banal – rainwater does not fit in the riverbed littered with household and construction debris and floods the streets and houses of the city.

In June 2016, 20 houses in Vanadzor were flooded. Again, due to heavy rain, the waters of the local Tandzut River, unable to fit into the littered riverbed, overflowed the banks and flooded the nearby areas with all the buildings.

In June 2016, after heavy rain with hail in the vicinity of the Aragats volcanic massif (50-60 mm of precipitation fell in an hour) and intense snow melting on the slopes of Aragats, large masses of water rushed along the bed of the Garangu River to Artik, where they overflowed their banks and, forming a new channel, flowed right through the streets of the city among houses and vegetable gardens (see Fig. 2 - 3). Why did this become possible? Usually, the water along the Garangu riverbed flows in a thin trickle only in autumn and spring, the rest of the time the riverbed is used by the local population as a garbage dump, illegal vegetable gardens (even chernozem was brought), as well as for the construction of cowsheds and even residential buildings!



Fig. 2. Mudslides of the river Garangu in the Article – June 24, 20



Fig. 3. The site of the city of Artik after the flood peak

In June 2016, powerful streams of water picked up all the garbage, imported soil and brought them down on buildings and vegetable gardens, all livestock was destroyed. According to the Ministry of Emergency Situations of the republic, 120 trucks of stones, mud and silt were removed from the streets of the city of Artik after this mudflow (flood). The thickness of mudflow deposits on the streets of the city was 1.5 m in places. A flood of this force in the Artik is being celebrated for the first time in 200 years.

In July 2009, a flood occurred in Avan (one of the districts of Yerevan). The water stream flowing through the streets of the district had a depth of 30-50 cm. The reason for this situation is the clogged drainage hatches with garbage and the low culvert capacity of pipes. A similar flood occurred in Yerevan on July 14, 2017 (see Fig. 4).



Fig. 4. The situation after a downpour on July 14, 2017 in Malatia (South district of Yerevan).

The author was a witness how on the evening of October 7, 2010, a heavy downpour in Yerevan turned Komitas Avenue into a water stream that occupied the entire roadway and also flooded the sidewalks with a layer of water up to 5 cm thick (shoes were completely covered with water) – the drainage hatches could not cope with a large volume of water, and the water went down the roadway and sidewalks.

A real mudflow formed on the railway stretch of Alaverdi-Akhtala on the night of June 7, 2023 after heavy rains that lasted for several days. Mud-stone soil blocked the railway tracks on a 100m section (www.panorama.am.news.2023/06/07) (see Fig. 5).



Fig. 5. Mud-stone mass that blocked the railway tracks on the Alaverdi-Akhtala stretch

Conclusion

The formation of mudflows in Armenia is associated with the lithological composition of rocks, their filtration coefficient, the steepness of the slopes and the degree of their exposure, as well as with intense summer showers or rapid snowmelt in spring. After 2011, the formation of mudflows in Armenia decreased due to a decrease in precipitation. However, the frequency of floods on rivers flowing through settlements has increased due to the littering of the channels of local watercourses, as well as on the streets of cities, since drainage hatches do not have time to absorb large amounts of precipitation due to their clogged with garbage. The problem can be solved as follows: in the case of rivers, by deepening their channels by at least 0.5-1.0 m with preliminary cleaning of the channels from construction and household garbage; in the case of city streets, it is necessary to put drainage hatches in order (to clean them from garbage more often, and also, if possible, replace them with new ones with a large diameter so that they have time to absorb downpour water from the rather steep city streets of Armenia).

References

- [1] Gaprindashvili G., Gaprindashvili M., Tsereteli E. Natural disaster in Tbilisi City (Riv.Vere basin) in the year 2015. // International Journal of Geosciences, 7, 2016, pp.1074-1087.
- [2] Neumann P., Bauer M., Haidn M., Keilig K., Menabde Z., Dumbadze D. Geological and geotechnical findings of the catastrophic debris flow near Tskneti, Georgia, June 2015. // V International conference. Debris flows: disaster, risk, forecast, protection. Proceedings of the conference, Tbilisi, 2018, pp. 158-165.
- [3] Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Zyelyk Y. Flood risk assessment based on geospatial data. // New trends in information technologies. ITHEA, Sofia, 2010, pp. 92-101.
- [4] Boynagryan V.R., Stepanyan V.E. Assessing hazards and risk from hydro-meteorological phenomena in the Republic of Armenia. // Stimulus for human and societal dynamics in the prevention of catastrophes, Amsterdam, IOS Press, 2011, pp. 189-193.
- [5] Coldewey W.G., Böcker Ch., Schuppelius J. Community initiative for reducing flood risks – a case study. // Stimulus for human and societal dynamics in the prevention of catastrophes, Amsterdam, IOS Press, 2011, pp. 29-41.
- [6] Douglas B., Toma O. Prevention and intervention in the case of catastrophes in the Moldova area of Romania. // Stimulus for human and societal dynamics in the prevention of catastrophes, Amsterdam, IOS Press, 2011, pp. 210-218.
- [7] Boynagryan V.R., Boynagryan A.V., Mnukyan N.V. Mudflow activity in Armenia. // III International Conference. “Debris flows: disasters, risk, forecast, protection”, Proceedings of the conference, Yuzhno-Sakhalinsk, 2014, pp. 10-13.
- [8] Boynagryan V.R. Mudflows and transport communications in Armenia. // The study of the spread and development of dangerous natural processes and phenomena and their impact on the transport communications of mountainous countries (on the example of the South Caucasus and Central Asia), Yerevan, GITUTYUN Publishing House NAS RA, 2021, pp. 36-41.

THE UGHEDZOR LANDSLIDE DISTRICT (ARMENIA) AND A PROBLEM OF RUNNING OF THE STRATEGIC MOTORWAY

Boynagryan V.R.

Yerevan State University, Yerevan, Armenia
vboynagryan@ysu.am

Abstract. In the eastern part of the Vayots Dzor region (Armenia), in the Darb River basin (left tributary of the Arpa River), in the area between the villages of Saravan and Ughedzor, active landslides constantly damage the roadbed of the strategic highway connecting Yerevan with the south of the country. Active landslides cover both banks of the Darb River valley, therefore, as an alternative to the existing strategic road, it is proposed to bypass the entire landslide area from the north along the Jermuk highway to the Kechut reservoir and then follow the existing country road to the Vorotan River and along its left bank (a lava plateau with an existing road operated by the miners of the Amulsar field) near the village of Goraiq to connect with the strategic Yerevan-Goris road.

Key Words: Landslide, strategic road, Ughedzor

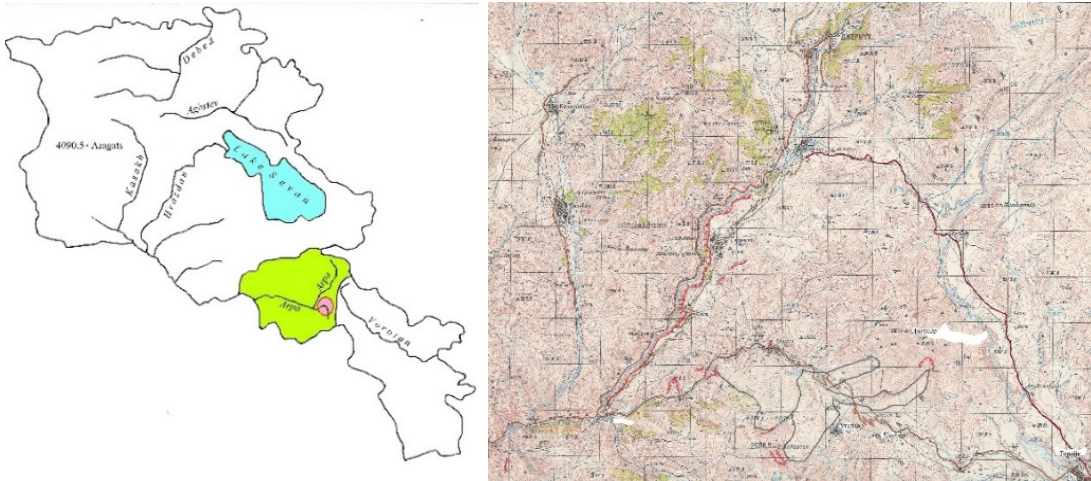
Introduction. Among the dangerous natural phenomena that cause great harm to anthropogenic objects and make significant changes in the natural environment, landslides occupy a special place. They are widespread in mountainous areas, where steep and often convex slopes predominate, the depth of dissection of the relief is significant, seismic activity is high, there are numerous tectonic faults in the zone of which creep movements of their sides are noted, rocks are strongly modified (often to a clay state), springs are frequent, etc. All this, together with human economic activity, provokes the formation of landslides of different sizes and different activity [1-7].

In Armenia, which is a typical mountainous country with all its features, more than 4% of its territory is covered by landslides. To date, there are more than 130 dangerous landslide sites in the republic, which require immediate anti-landslide measures to prevent possible disasters. Of these, a part falls on sections of roads and railways. At the same time, the greatest damage to transport communications by landslides falls on the regions of Syunik (373 km), Lori (246 km), Tavush (178 km), Shirak (158 km) and Vayots Dzor (131 km) [8].

In the conditions of the mountainous terrain of the republic, landslides that threaten the functioning of strategic communications pose the greatest danger, since with significant activation of landslides, it is difficult to find workarounds for travel. One of such problematic is the Ughedzor landslide site.

Study area. The Ughedzor landslide site is located in the interfluvium of the Arpa and Vorotan Rivers, in the eastern part of the Vayots Dzor region, just west of the border with the Syunik region, in the Darb River basin (left tributary of the Arpa River). The site is located within the Amulsar uplift (the amplitude of the neotectonic uplift of the latter is 1900 m) of the Central Armenian intensively differentiated arch-block zone [9]. The northern landslides of the site are timed to coincide with this uplift. And the southern landslides, apparently, are connected with a supposed fault that runs to the southwest of the Saravan-Ughedzor line. The landslide area covers the territory from the village of Saravan to the village of Ughedzor and extends towards the Ughedzor pass (see Fig. 1).

The landslide site includes both sides of the valley of the Darb River. Here, in the volcanogenic-sedimentary thickness, along the line of the active fault, to which the epicenter of the Vayots Dzor destructive earthquake of 735 (M=6.5-7.0) is confined, several large landslides-blocks and landslides-flows were formed, which are clearly recorded in the terrain (a), aerial (b) and satellite (c) images [2] (see Fig. 2).



a

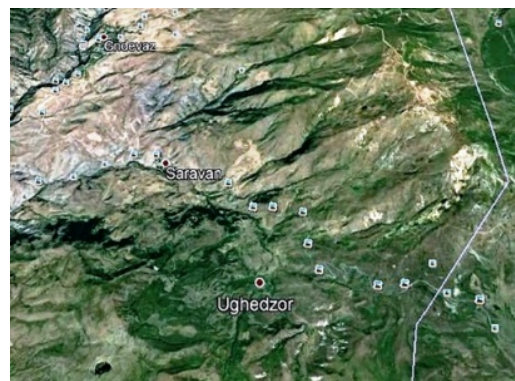
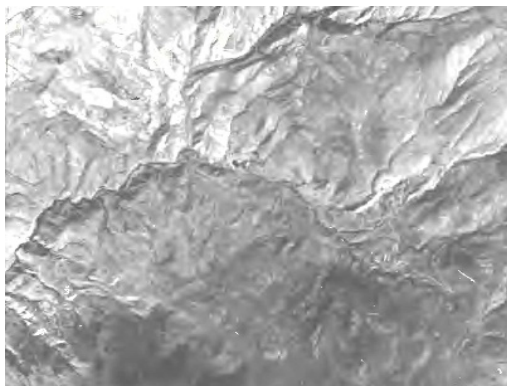
b

Fig. 1. a - The location of the Vayots Dzor region on the map of Armenia (the Ughedzor landslide site is marked with a red circle); b - Ughedzor landslide site (landslides are marked with a black outline, purple - the proposed route of the bypass road)



a

b



c

d

Fig. 2. Ughedzor landslide site: terrain photograph (a - b), aerial photograph (c), satellite image (d).

These landslides constantly deform the roadbed, which is very dangerous, because this road is the only one that connects the capital of the republic with the south of the country and is of strategic importance. The activity of the landslides of the Ughedzor site is most likely associated with the activity of the Vayots Dzor fault, along which slow movements of its sides occur [2].

Materials. In preparing this article, the materials of the author's personal field research, analysis of available maps (topographic, neotectonic [9], geological [10]), as well as 1:100 000 scale aerial photographs were used.

Results and discussion. The road near the village of Saravan passes through the volcanogenic formations of the upper parts of the Amulsar strata of the Upper Oligocene-Lower Miocene (andesites, andesite-dacites, their lava breccia, tuff-breccia), and further, to the south-east of the village, it crosses volcanogenic sedimentary formations of the Middle Eocene (sandstones, siltstones, limestones, tuff sandstones, tuff-breccia, andesite-basalts, andesite and andesite-dacite lava flows), as well as lavas of the lower Pliocene and Upper Miocene [10]. On the right bank of the valley of the Darb River there are two floodsliding that shifted from the south-western slope of the Zangezur ridge and oriented from north – north-east to south – south-west.

The northern of these floodslidings has a length of 2.5-3.3 km and a width of 0.75 km to 1.5 km in the “tongue” part. The relief of the landslide body is uneven, the body itself consists of two parts - the lower part has settled in comparison with the upper one. The power of this landslide is 50-100 m (the latter value is characteristic of its hilly parts). The displacement of this landslide and its activity are associated with the constant moistening of the waters of springs that come out at the foot of the steep part of the slope of the Zangezur ridge (the walls of the collapse of the landslide body) and are unloaded into landslide formations.

Southern floodsliding on the right bank of the Darb River is oriented in its upper part parallel to the northern landslide, but then turns due west. Its length is 4.5 km, width – 0.5-0.8 km, power – 75-100 m. The “tongue” of this landslide shifted the course of the Darb River about 250-300 m to the west. The wall of the collapse of the landslide with a height of just over 200 m is located at a distance of 1.5 km south-east of the summit of Amulsar (2987.9 m) on the south-western slope of the Zangezur ridge. The right side of the landslide, in all probability, coincides with a tectonic fault, as indicated by the straightness of the watercourse, the outlets of springs, the concave bend of the slope, etc.

The body of the landslide is heavily moistened by the waters of springs, as well as numerous ravines draining the slopes adjacent to the landslide and unloading their waters into the body of the landslide. Therefore, the surface parts of this landslide creep onto the roadbed of the strategic highway. The landslide itself is quite active, which is confirmed by the constant displacement of the roadbed down the slope and its destruction (see Fig. 3).



Fig. 3. Consequences of the landslide of the right board side of the Darb River valley.

The large power of the landslide does not allow protecting the highway from destruction only by countering the displacement of the surface strata of the landslide mass. Interception of water with a concrete tray only a

temporary measure capable of stopping the creeping of these surface strata on the road. After all, the road is destroyed not from these surface masses, but from the displacement of the floodsliding with its entire mass.

It is not possible to move the road from the right slope to the left slope or to the bottom of the valley of the Darb River, since the entire left slope up to the riverbed is a pile of landslide masses that have shifted from the north-western spur of the Zangezur ridge at the top of Aghiargan (2528.5 m) along the tectonic fault line. A large landslide body with a length of 3.0-3.5 km and a width of up to 1-1.5 km also covers the territory of the village of Ughedzor and extends up to the riverbed of the Darb River. Landslide formations with a capacity of 50-90 m on the left bank of the river have a bumpy relief with small depressions and protrusions. In places, the depressions are filled with water and are small lakes.

Conclusions. The author suggests considering, as an alternative to the existing strategic road, the option of detouring from the north of this entire landslide section along the Jermuk highway to the Kechut reservoir and then along the existing country road (it, of course, must be previously repaired) to reach the Vorotan River and along its left bank (lava plateau with the existing road operated by the miners of the Amulsar field) at Goraiq villages connect with the strategic Yerevan-Goris road. This option must always be in stock, so the road must be kept in good condition. Of course, with this option, the length of the path increases (by about 50 km) and the time to overcome the detour section, but there is simply no other option.

References

- [1] Boynagryan V.R. Landslides in Armenia. // *Revue Roumaine, de Geographical Romanian Journal of Geography*, Bucuresti, 53 (2), 2009,197-208.
- [2] Boynagryan V.R., Stepanyan V.E., Khachatryan D.A., Yadoyan R.B., Arakelyan D.G., Gurdjian Yu.G. Landslides of Armenia. // Yerevan, ASOGIK, 2009, 308 p.
- [3] Matossian A., Bagdasaryan A., Avagyan A., Igityan H., Gevorgyan M., Havenith H.-B. A new landslide inventory for the Armenian Lesser Caucasus: Slope morphologies and seismotectonic influences on large landslides. // *Geosciences*, 10 (3), 2020, pp. 111-130. <https://doi.org/10.3390/geosciences10030111>
- [4] Gaprindashvili M., Tsereteli E., Gaprindashvili G., Kurtsikidze O. Landslide and mudflow hazard assessment in Georgia. // *Building knowledge for geohazard assessment and management in the Caucasus and other orogenic regions*, 2021.
- [5] Moldobekov B.D., Sarnogoev A.K., Usupaev S.E., etc. Forecast of natural disasters on the territory of the Kyrgyz Republic. // Bishkek, Publishing house of All-Press, 1997, 172-180.
- [6] Ibatulin H.V. Monitoring of landslides in Kyrgyzstan. // Bishkek, Publishing house of the Ministry of Emergency Situations of the Kyrgyz Republic, 2011, 145 p.
- [7] Saidov M.S. Landslides and transport communications in Tajikistan. // *The study of the spread and development of dangerous natural processes and phenomena and their impact on the transport communications of mountainous countries (on the example of the South Caucasus and Central Asia)*, Yerevan; GITUTYUN Publishing House NAS RA; 2021, 28-35.
- [8] Reducing the vulnerability of lines and life support facilities of the Territory of the Republic of Armenia that have been subjected to disasters; Funds of the RA Ministry of Emergency Situations. // 2003, 124 p.
- [9] Simonyan G.P. Neotectonic map of the Republic of Armenia. Scale 1:200 000. // 2000.
- [10] Kharazyan E.H. Geological map of the Republic of Armenia. Scale 1:500 000. // Yerevan, 2005.

MODERN CLIMATIC CONDITIONS OF THE STEPPE LANDSCAPES OF THE NORTH CAUCASUS AGAINST THE BACKDROP OF A CHANGING CLIMATE

Bekmurzaeva L.R., Gagaeva Z.Sh., Kerimov I.A.

Millionshchikov Grozny State Oil Technical University
eip-eco2017@yandex.ru

Abstract. The article assesses the climate changes observed in the steppe landscapes of the North Caucasus. The assessment was based on data from ten representative weather stations from 1961 to 2020. It was revealed that in the steppe landscapes of the North Caucasus there is an increase in annual air temperature and precipitation. An indicator of territory moisture, such as the hydrothermal coefficient G.T. Selyaninov, remained within the normal range, therefore, there are no prerequisites for changing the boundaries of the steppe landscapes of the North Caucasus.

Key words: modern climate changes, landscape, temperature, precipitation, hydrothermal coefficient.

The World Meteorological Organization first issued a statement on the threat of global climate change back in 1976. In 1979 and 1990, the World Climate Conferences were held at which the existing threats of global climate change were identified and strategies were outlined for society to adapt to the consequences of climate change. Today, there are many international programs for global climate research. To provide scientific support to the UN Framework Convention on Climate Change, an Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has been created, whose tasks include the most complete and objective assessment of observed and expected climate changes and the role of anthropogenic factors. To date, six IPCC assessment reports have been prepared. In these reports, the information presented touches on processes of a global and continental nature. Regional aspects are considered rather superficially.

The North Caucasus occupies a special position in modern Russia, since it is one of the most comfortable regions of the country for living in terms of natural conditions. It has been inhabited for quite a long time and currently an agricultural and recreational specialization of the economy has developed here, which is important for the whole of Russia. Therefore, the assessment of modern climate changes is of not only theoretical, but also great practical interest.

Many authors have studied climate change in the North Caucasus and its regions [1-9 and others].

Materials and methods. Climate change is reflected in changes, first of all, in such climatic parameters as temperature and precipitation. To assess moisture, along with precipitation, various coefficients and indices are used. The most famous of them are the hydrothermal coefficient, proposed by G.T. Selyaninov. Data from the USSR Climate Handbook, reflecting climatic conditions for 1931-1960, are used as the norm [10].

To analyze the modern climatic conditions of the steppe landscapes of the North Caucasus, we selected the reference weather stations Izobilny, Stavropol, Gudermes, Grozny, Aleksandrovskeye, Gigant, Armavir, Krasnodar, Anapa, Primorsko-Akhtarsk for 1961-2020.

Results and discussion. Average annual air temperature for the period from 1961 to 2020. in steppe landscapes was 11.1°C. There is an increase in annual air temperature over the period under review by an average of 0.98°C (Table 1). All σ (standard deviation) values fall within the confidence interval. The warmest year for the period under review was 2010. All weather stations report the maximum annual air temperature this year. The main contribution to the increase in average annual air temperature was made by the months of the cold period.

Within the steppe landscapes of the North Caucasus, precipitation falls from 482 to 711 mm. On average, over the period under review, the upward deviation from the norm was 72 mm. A negative deviation from the norm is

observed only in Stavropol, where there is a shortage of precipitation in all months, this is especially noticeable in the warm period of the year. While other weather stations show an excess of precipitation compared to the norm. Precipitation increased significantly (more than 10% of the norm) in Izobilny and Primorsko-Akhtarsk (10%), Gudermes, Krasnodar and Armavir (11%), Aleksandrovsky (16%), Gigant (27%), Anapa (39%).

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
Izobilny													
average	-1,5	-0,2	4,7	11,8	17,0	21,0	23,2	22,3	17,0	10,6	5,0	0,6	10,9
difference	1,4	1,9	2,0	1,5	0,3	0,7	-0,2	-0,1	-0,2	-0,4	0,3	0,7	0,6
σ	2,9	3,1	2,6	2,4	2,1	1,7	1,7	2,4	2,7	2,7	2,9	2,6	1,1
Stavropol													
average	-2,9	-2,2	2,4	9,8	15,4	19,6	22,3	21,7	16,3	9,5	3,7	-0,7	9,5
difference	0,8	0,8	0,8	1,2	0,2	0,6	0,4	0,2	0,3	-0,5	0,3	0,4	0,4
σ	2,9	3,3	2,4	2,1	1,9	1,9	1,7	2,0	1,9	2,6	2,8	2,3	1,1
Gudermes													
average	-1,8	-0,6	4,6	11,3	17,3	22,1	24,9	24,1	19,1	11,9	5,6	0,5	11,6
difference	1,2	1,0	1,5	1,4	0,5	0,9	0,5	0,3	0,9	0,1	0,8	0,8	0,8
σ	2,9	3,1	2,2	1,8	1,4	1,5	1,5	1,7	1,5	1,8	1,9	2,3	1,0
Grozny													
average	-2,3	-1,4	4,1	11,0	16,9	21,1	24,0	23,5	18,4	11,2	4,8	-0,1	10,9
difference	1,3	0,9	1,7	1,7	0,4	0,3	0,2	0,3	1,0	0,2	0,8	1,1	0,8
σ	3,0	3,3	2,1	1,7	1,4	2,8	1,2	1,6	1,5	1,8	2,0	2,2	0,9
Aleksandrovskoye													
average	-3,1	-2,1	2,7	10,2	16,1	20,2	23,0	22,0	16,5	9,5	3,6	-0,8	9,8
difference	1,6	1,9	1,8	1,7	0,5	0,3	0,1	-0,1	0,5	0,1	0,8	1,4	0,9
σ	3,0	3,4	2,5	1,9	1,6	1,7	1,4	1,9	2,0	2,3	2,5	2,2	1,0
Gigant													
average	-3,6	-2,8	2,7	10,9	16,9	21,3	24,1	23,3	17,5	10,2	3,7	-0,8	11,1
difference	1,9	2,0	2,1	1,7	0,6	1,0	0,6	0,6	0,9	0,6	1,2	2,0	2,1
σ	3,4	3,6	2,6	1,9	1,7	1,8	1,7	2,0	1,8	2,1	2,3	2,4	1,0
Armavir													
average	-1,6	-0,3	4,7	11,6	16,8	20,6	23,3	22,9	17,8	11,3	5,4	0,8	11,1
difference	1,8	2,2	1,6	1,4	0,6	1,0	0,6	0,8	0,9	0,3	1,1	1,8	1,2
σ	2,7	3,0	2,3	1,8	1,6	1,6	1,4	1,8	1,8	2,0	2,1	2,3	1,0
Krasnodar													
average	-0,1	1,1	5,6	12,3	17,6	21,5	24,1	23,6	18,6	12,0	6,5	2,4	12,1
difference	1,7	2,0	1,4	1,4	0,8	1,1	0,9	0,9	1,2	0,4	1,4	2,0	1,3
σ	3,1	3,3	2,4	1,8	1,7	1,6	1,6	2,0	2,1	2,0	2,3	2,3	1,1
Anapa													
average	2,3	2,9	5,9	11,0	15,8	20,7	23,6	23,5	18,8	13,2	8,4	4,8	12,6
difference	1,0	1,3	0,8	1,1	0,5	1,1	0,7	0,7	0,8	0,0	0,9	1,0	0,8
σ	2,7	2,7	1,9	1,4	1,4	1,5	1,4	1,7	1,7	2,0	2,3	2,3	1,0
Primorsko-Akhtarsk													
average	-1,4	-0,5	4,2	11,4	17,6	22,1	24,6	23,9	18,5	11,6	5,5	1,2	11,5
difference	1,4	1,9	1,8	1,4	0,6	0,7	0,3	0,5	0,7	0,2	0,9	1,6	0,9
σ	3,0	3,1	2,4	1,7	1,7	1,6	1,5	1,7	1,6	1,9	2,2	2,2	1,0

Note: average is the average temperature of the month and year, °C; deviation from the norm – the difference between the data for the period under consideration and the data from [16]; σ – standard deviation.

The assessment of moisture supply indicators was carried out on the basis of an analysis of the hydrothermal coefficient of Selyaninov G.T., which characterizes the ratio of incoming heat and moisture during the growing season. In general, the value of the hydrothermal coefficient varies from 0,7 to 1,1, which corresponds to the steppe – forest-steppe. According to table. 2, the hydrothermal coefficient decreased significantly in Stavropol due to a decrease in precipitation during the warm period. The hydrothermal coefficient increased significantly in Izobilny (by 0,1) and in Anapa (by 0,11). At all other weather stations there is a natural fluctuation of the hydrothermal coefficient.

Table 2. Deviation of moisture indicators from the long-term average value for the period from 1961 to 2020

weather station	hydrothermal coefficient	σ	weather station	hydrothermal coefficient	σ
Izobilny	0,10	0,3	Gigant	0,06	0,3
Stavropol	-0,3	0,3	Armavir	0,07	0,3
Gudermes	0,05	0,3	Krasnodar	0,06	0,3
Grozny	0,02	0,3	Anapa	0,11	0,3
Aleksandrovskoye	0,09	0,3	Primorsko-Akhtarsk	-0,08	0,3

Conclusions

Climatic changes in the steppe landscapes of the North Caucasus as a whole are proceeding according to the scenario of increasing air temperature and precipitation. The increase in annual air temperature occurs mainly due to the months of the cold period. Despite the increase in precipitation, there is a multidirectional change in its amount. For example, in Stavropol they generally decreased, but this decrease can be associated with local atmospheric circulation. The hydrothermal coefficient has undergone virtually no changes, therefore, there are no prerequisites for changing the boundaries of landscapes.

The work was carried out within the framework of the state task of the Millionshchikov State Oil Technical University, FZNU-2021-0002 "Assessment of the variability of agroclimatic conditions of the North Caucasus in connection with global climate change"

References

- [1] Adzhieva A.A., Kondrateva N.V. Climate change and hydrometeorological phenomena in the mountainous regions of the Caucasus. // Sustainable development of mountain territories, No 1, 2009, pp. 68-72.
- [2] Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Teunova N.V. Spatio-temporal climate change in the south of the European territory of Russia, assessment of its consequences, methods and models of adaptation of the agro-industrial complex. // Nalchik, 2020, 476 p.
- [3] Bekmurzaeva L.R., Bratkov V.V., Kerimov I.A. Modern climatic trends in mountain landscapes of the North Caucasus against the backdrop of global climate change. // News of the Dagestan State Pedagogical University. Natural and exact sciences, T. 16, No. 3, 2022, pp. 56-62.
- [4] Bratkov V.V., Savinova S.V., Klyushin P.V., Kerimov I.A., Bekmurzaeva L.R. Mapping of modern variability of agro-climatic conditions of the North Caucasus. // South of Russia: ecology, development, vol.16, No 4, 2021, pp.173-181.
- [5] Kerimov I.I., Bratkov V.V., Bekmurzaeva L.R. Modern climatic trends of semi-desert landscapes of the North Caucasus. // Sustainable development of mountain territories, vol 13. No 4, 2021, pp. 576-589.
- [6] Kerimov I.A., Gairabekov U.T., Makhmudova L.Sh. Carbon test site of the Chechen Republic: I. Landscape features and structure. // Grozny Natural Science Bulletin, Vol. 6. No. 3(25), 2021, pp. 35-47.
- [7] Kerimov I.A., Makhmudova L.Sh., Myachina K.V., Pridacha V.B., Elzhaev A.S., Badaev S.V., Batukaev A.A., Doduev A.A., Duskaev M.Z., Mamadiev N.A. Carbon test site of the Chechen Republic: II. Research methods and first results. // Grozny Natural Science Bulletin, Vol. 7, No. 4 (30), 2022, pp. 62-78.
- [8] Larionov Yu.A. Changing the boundaries of agro-climatic sub-areas in connection with climate change. // Ecological and geographical bulletin of the South of Russia, No 2, 2001, pp. 104-106.
- [9] Lurie P.M. Global climate change and river runoff in southern Russia. // Ecological and geographical bulletin of the South of Russia, No 2, 2002, pp. 42-45.
- [10] Handbook on the climate of the USSR. Issue 13. Part 2. L.// Gidrometizdat, 1966. 492 p.

LANDSCAPE FEATURES OF CARBON POLYGON OF THE CHECHEN REPUBLIC

***Gairabekov U.T., *Gunya A.N., *Machmudova L.Sh.

**Millionshchikov Grozny State Oil Technical University*

***Academy of the Sciences of the Chechen Republic*

gairabekov_u@mail.ru

Abstract. The article analyzes the landscape features of the carbon test site of the Chechen Republic, located in various natural and climatic conditions of the region.

Key words: carbon balance, greenhouse gases, emissions, absorption, natural landscapes, ecosystem.

Carbon testing sites are areas where research on climate-active gases is carried out with the participation of universities and scientific organizations. They include the development and adaptation of technologies for measuring above-ground and underground phytomass, agrochemical studies of soils, measuring the emission and absorption of greenhouse gases by ecosystems, the active use of remote sensing technologies using space and unmanned platforms, the development and adaptation of mathematical models for calculating the carbon balance of ecosystems in reference areas.

A system of carbon polygons is being created within the framework of the national action plan for adaptation to climate change until 2022, approved by the Government of the Russian Federation in December 2019. Activities carried out in this direction are designed to reduce the risks of systemic restrictions in the trade balance from Western partners [6, 10].

In February 2021, the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation launched a pilot project to create carbon testing sites in Russian regions for the development and testing of carbon balance control technologies. As part of the implementation of a pilot project on the territory of the Chechen Republic, a carbon testing site "Way Carbon" was created in 2021.

As part of the development of the carbon test site in the Chechen Republic, the development of methods for assessing the carbon balance based on a comprehensive interpretation of geophysical and geoecological data is very promising. The development of mathematical models of the carbon balance of mountain and foothill ecosystems, which can be extrapolated to other mountain regions of Russia, is also very relevant.

Compared to other regions of Russia, the territory allocated for the carbon test site in the Chechen Republic has a wide range of natural landscapes. They cover a fairly large range of altitudes from south to north (from 100-1500 m to 2500 m), including landscapes of subalpine meadows, mountain forest landscapes, forest-steppe and steppe landscapes [4-6].

Steppe landscapes are mainly distributed south of the river. Terek within the Nadterechnaya Plain, Terek-Sunzha Upland, Alkhanchurt Valley and the northern part of the Chechen Sloping Plain. The hills are composed of Miocene-Pliocene deposits of the Neogene system, the plains are composed of loess-like loams, underlain by undivided deposits of the anthropogene system (Atlas of the Chechen-Ingush Autonomous Soviet Socialist Republic, 1978). The climate is temperate and humid. The humidification coefficient is from 0.61 to 0.9 - increases from north to south and towards the tops of the ridges. The annual precipitation increases to the south and amounts to 400-600 mm (Agroclimatic reference book for the Chechen-Ingush Autonomous Soviet Socialist Republic, 1960). Chestnut and dark chestnut soils predominate. Leached carbonate chernozems in combination with carbonate, solonetzic and washed away chernozems are characteristic of the Terek-Sunzha Upland. The Alkhanchurt valley is dominated by solonetzic and solonchak varieties of chestnut soils. Meadow-chernozem and meadow-chernozem carbonate soils are common on the Chechen inclined plain and along river valleys (Atlas of the Chechen-Ingush Autonomous Soviet Socialist Republic, 1978). The natural landscapes of the steppe zone are characterized by forbs-fescue-feather grass and bearded vulture, in places plowed steppe cenoses; forb-grass steppes with ravine forests; forb-grass wormwood steppes; secondary wormwood-boradacha steppes with shiblyak

fragments [1-3]. Most of the steppes and meadow steppes are plowed and turned into agrocenoses. On the lower terraces of the Terek and Sunzha rivers, intrazonal landscapes are common, represented by floodplain broad-leaved forests of the bayrach type.

Broad-leaved forests have been preserved on the slopes of the northern exposures of the Terek-Sunzhensky ridges.

Forest-steppe landscapes occupy the territory between the Sunzhensky, Novogrozny, Gudermes ridges in the north and the Black Mountains in the south, within the southern part of the Chechen inclined plain. According to its geological structure, the Chechen Plain is a foothill trough of the earth's crust, adjacent directly to the Caucasus Range. The relief is dominated by high plains composed of alluvial deposits, dissected by river valleys, with absolute heights from 150 to 450 m (Atlas of the Chechen-Ingush Autonomous Soviet Socialist Republic, 1978). The climate is moderate, fairly humid, with a humidification coefficient from 0.91 to 1.2. The annual precipitation is 500-600 mm (Agroclimatic reference book of the Chechen-Ingush Autonomous Soviet Socialist Republic, 1960). The predominant soil type is meadow-chernozem combined with medium-deep and slightly leached carbonate chernozems. Meadow-chernozem carbonate soils in combination with meadow carbonate soils are found in isolated spots. In the south of the forest-steppe zone, from west to east, along the Black Mountains, there is a strip of meadow and alluvial-meadow soils, predominantly saline and solonchic, which expands to the west and east (Atlas of the Chechen-Ingush Autonomous Soviet Socialist Republic, 1978). Forest-steppe landscapes are almost completely plowed, cultivated and are currently represented mainly by agricultural landscapes. The remaining natural areas are represented by meadow herbs with an admixture of steppe grasses. Forests have been preserved only on the slopes of the northern exposure of the Terek-Sunzha Upland and on the lower terraces of river valleys.

Mountain landscapes occupy the northern slope of the Greater Caucasus, dissected from north to south by four parallel ridges - Chernogorsky, Pastbishchny, Skalisty and Bokovoy. The Black Mountains are composed mainly of sandy-clayey deposits of the Paleogene-Neogene system of the Cenozoic. The Pastishchny and Skalisty ridges are composed predominantly of limestone rocks of the Cretaceous system, and the Bokovaya ridge is composed of clayey rocks, black shales and sandstones of the Jurassic system. Absolute heights range from 500 m in the Black Mountains to 4494 m (Tebulos-Mta) [1, 7]. Glaciations of the Quaternary period played a major role in the formation of modern highland landscapes. Slope exposure plays a significant role in the formation of mountain landscapes. Altitudinal zonation is clearly evident in the mountains.

Mountain landscapes, based on hydrothermal, soil-geobotanical and relief conditions, are divided into:

- mid-mountain-low-mountain landscapes of broad-leaved and mixed forests and post-forest meadows;
- mid-high mountain landscapes of subalpine and alpine meadows;
- intrazonal landscapes of arid and semiarid high-mountain basins;
- nival-glacial landscapes of glaciers and snowfields.

Mid-mountain-low-mountain landscapes occupy an area ranging in altitude from 500 to 1800-2000 m, and sometimes up to 2500 m. They cover mainly the Black Mountains, as well as the lower slopes of the Pastbishchny, Skalisty and partially Bokovoy ridges. The territory is composed of Paleogene-Neogene deposits, represented here mainly by clayey, shale and limestone rocks (Atlas of the Chechen-Ingush Autonomous Soviet Socialist Republic, 1978). The climate is temperate, soft, with a humidification coefficient from 0.91 to 1.5. The annual precipitation ranges from 500 to 700-800 mm, in some places reaching 1000 mm or more (Agroclimatic Directory of the Chechen-Ingush Autonomous Soviet Socialist Republic, 1960). Mountain-forest brown, sometimes podzolized soils predominate in combination with humus-carbonate and meadow-alluvial soils, turning in the east into mountain-forest dark gray, swampy and fused soils (Atlas of the Chechen-Ingush Autonomous Soviet Socialist Republic, 1978). In the low mountains, mixed forests grow, the basis of which are wild fruit trees [1, 2, 9]. The main forest-forming species are: beech, hornbeam and birch mixed with Norway maple and Tatarian maple, cordifolia linden, gray and black alder, common ash, Sosnovsky pine, pedunculate and sessile oak and other species [1, 8]. In places where forests were cleared, secondary meadows formed, represented by mountain meadow herbs.

Mid-mountain-high mountain landscapes occupy the slopes of the Pastbishchny, Skalisty and Bokovoye ridges, within altitudes from 1800 to 3700-3800 m, and are divided into three zones: subalpine, alpine and subnival [2, 3, 9]. Arid basins are also characterized by intrazonal landscapes.

Landscapes of the subalpine and alpine zones are distributed at altitudes of 1800-3200 m. The climate in most of the zones is transitional from temperate to continental, with a humidification coefficient from 1.2 to 1.5. The annual precipitation is 700-800 mm, sometimes exceeding 1000 mm. In arid basins the climate is arid, and accordingly there is less precipitation - 400 mm per year (Agroclimatic reference book of the Chechen-Ingush Autonomous Soviet Socialist Republic, 1960). Mountain-meadow alpine thin soils and mountain-meadow subalpine medium-thick soils predominate. Along the river valleys, mountain forest primitive, slightly podzolized stony-cartilaginous soils are widespread (Atlas of the Chechen-Ingush Autonomous Soviet Socialist Republic, 1978). The subalpine belt is represented by tall grass meadows, consisting of forb-grass and sedge meadows on mountain-meadow, thick and medium-deep soils. The alpine belt is dominated by cereals -sedge, sedge, forb-grass associations. The upper part of the belt is characterized by colorful alpine carpets (Galushko, 1975; Ryzhikov, 1991; Pribytkov, 1981) [2, 9, 8].

The landscapes of the subnival belt with rocky outcrops and screes are formed by Lower Jurassic deposits at an altitude of 3200-3800 m (Atlas of the Chechen-Ingush Autonomous Soviet Socialist Republic, 1978). The humid and cold climate of the highlands contributed to the formation of low-grass alpine carpets with insignificant projective cover on thin mountain-meadow alpine soils with medium humus. There is no continuous vegetation in the subnival belt; it is scattered among screes and rocks. Mosses and lichens grow on the primitive soils of the belt [1, 2, 9].

Intrazonal landscapes are confined to arid and semiarid high-mountain basins located in the valley of the river. Chanty-Argun (Itum-Kalinskaya basin), in the upper reaches of the river. Sharo-Argun (Sharoya basin), in the upper reaches of the river. Gekhi, (Yalkharoe-Galanchozhskaya basin), southwest of Lake Kezenoy-Am (Makazhoiskaya valley). The moderately warm, arid climate, with a precipitation amount of 400 mm (Agroclimatic reference book of the Chechen-Ingush Autonomous Soviet Socialist Republic, 1960), contributed to the formation of dry-steppe landscapes with xerophytic vegetation here on mountain-steppe soils that were often washed away. The herbaceous vegetation of rocks and screes, which developed in mid-mountain and high-mountain landscapes, also belongs to intrazonal landscape inclusions.

The work was carried out within the financial support Millionshchikov State Oil Technical University FZNU-2023-0001 "Assessment of the emission potential of greenhouse gases of industrial enterprises and development of a set of sequestration measures (using the example of fuel and energy complex and housing and communal services enterprises of the Chechen Republic).

References

- [1] Gairabekov U.T., Gairabekova M.T. Structure and features of natural landscapes of the Chechen Republic // Bulletin of the Chechen State University, Issue 1, 2014, pp. 159-166.
- [2] Galushko A.I. Vegetation cover of Checheno-Ingushetia. // Grozny: Chechen-Ingush book. publishing house, 1975, 118 p.
- [3] Gunya A.N., Gairabekov U.T. Physiographic differentiation of the Chechen Republic: the most important structural elements and boundaries. // Problems of regional ecology, No. 6, 2013, pp. 66-71.
- [4] Gunya A. N., Gairabekov U. T., Gagaeva Z. Sh. Study of landscape structure for assessing the carbon balance of mountain ecosystems. // Geology and geophysics of the South of Russia, 12 (3), 2022, pp. 170-181. DOI: 10.46698/VNC. 2022.48.65.012.
- [5] Gunya A.N., Petrushina M.N., Gairabekov U.T., Makhmudova L.Sh. The current state of the landscapes of the reference areas of the carbon test site of the Chechen Republic. // In the collection: Rational environmental management: traditions and innovations. Materials of the III International Conference, Moscow, 2022, pp. 170-174.
- [6] Kerimov I.A., Gairabekov U.T., Makhmudova L.Sh. Carbon test site of the Chechen Republic: I landscape features and structure. // Grozny Natural Science Bulletin, Vol. 6. No. 3 (25), 2021, pp. 35-47. DOI: 10.25744/genb.2021.28.73.004.
- [7] Lotiev B.K., Salamov R.A., Dagaev L.A., Istratov I.V. On the history of geological study of Checheno-Ingushetia // Questions of geology and geography of the North-Eastern Caucasus. Sat. scientific work. Grozny: Checheno-Ingush State University, 1978, pp. 3-11.
- [8] Pribytkov N.V. On the characteristics of the vegetation cover of the Chechen-Ingush Autonomous Soviet Socialist Republic. Grozny. // Chechen-Ingush book. publishing house, 1981, 84 p.
- [9] Ryzhikov V.V. and others. Nature of the Chechen-Ingush Republic, its protection and rational use. // Grozny: Book, 1991, 160 p.
- [10] <https://minobrnauki.gov.ru/action/poligony/>.

STUDY OF NATURAL AND MAN-MADE ECOSYSTEMS BY METHODS OF ENGINEERING GEOPHYSICS (ON THE EXAMPLE OF THE CHECHEN REPUBLIC)

***Kerimov I.A., Elzhaev A.S., Doduev A.A.

Millionshchikov Grozny State Oil Technical University

*Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences
kerimov@ifz.ru*

Abstract. A carbon landfill has been operating in the Chechen Republic since 2021. Among the studies carried out at the sites of the Carbon landfill, an important place is given to geophysical studies that have been widely used in solving environmental problems such as the study of the burial areas of various solid waste and other contaminated (including petroleum products) territories. This article is devoted to the methods of engineering geophysics carried out at the reference site "Carbon Farm", as well as at the experimental oil-contaminated site. The article presents the results of the research, the relevant conclusions are drawn.

Keywords: carbon landfill, electrotomography, seismic exploration, sludge storage, soil

One of the operators of the Carbon landfill of the Chechen Republic is the Grozny State Oil Technical University named after academician M.D. Millionshchikov (GSTOU), whose scientists conduct scientific research at six reference sites [3, 4].

A wide range of environmental problems (landslides, landslides, pollution of the geological environment, etc.) have been solved for a long time and effectively by methods of engineering geophysics [1, 6-8]. Geophysical methods are also widely used in solving such environmental (geocological) tasks as the study of landfills of solid household waste (MSW), tailings dumps of industrial enterprises and other polluted territories [5] that negatively affect the state of the environment and human health.

As part of the work carried out at the carbon landfill, employees of the Geophysical research laboratory of the Research Institute of Geoecology and Environmental Management of GGNTU conducted research on the site contaminated with petroleum products and the reference site "Carbon Farm".

Electrotomography (ET) on an oil-contaminated site

The objective of the study was to analyze the distribution of ER in the sludge storage bowl and evaluate the filtration properties of its sides. One of the effective methods for solving this problem is electrotomography [2, 7, 8].

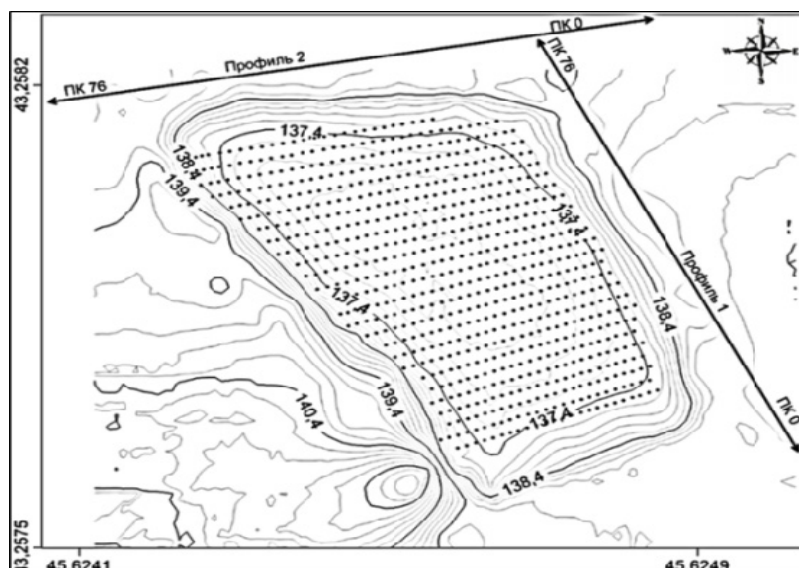


Fig. 1. Diagram of ET profiles and measurement points by the probe of the mini-installation of the VEZ.

To analyze the distribution of electrical resistivity (resistivity) in the sludge storage bowl and assess the filtration properties of its sides for possible leaks, an electrotomography and measurements of the ER were performed using the VEZ probe of a 4-electrode mini-installation Winner with an electrode pitch of 0.1 m. The range of the obtained values of the ER (at depths of 25 and 65 cm from the daytime surface) was 0.5-2 Omm, which is atypical for natural, but typical for man-made ground conditions.

The diagram of the profiles and measurement points is shown in Fig. 1

Analysis of the compiled cross-section maps of the distribution of ER at the designated depths revealed a linearly elongated anomaly from the SWW to the NEE in the middle of the bowl of the studied sludge storage (about 1 Omm at both depth levels). This anomaly is more pronounced in contrast at a depth of 65 cm from the daytime surface. Higher (relative to the obtained range, about 1.2-1.6 Omm) ER are confined to the subsurface part, and at a depth of 65 cm are localized in the area of a linearly elongated anomaly. The observed anomaly is probably confined to the internal partition dividing the sludge storage bowl into two almost equal parts, and made, most likely, of clay material.

In the northern part of the bowl, a locally limited anomaly (1 Omm or less) is also recorded, the nature of which can be determined only after drilling holes and sampling for chemical analysis.

As a result of the inversion of the field data of the electrotomography method, geoelectric sections were obtained (Fig. 2).

On the profiles along the ridges of the eastern and northern sides enclosing the sludge storage bowl, the sections are structurally almost identical to each other. The first layer from the daytime surface of the geoelectric section of the eastern side (Fig. 2, a) has a power of about 0.7-1.0 m. and a ER in the range of 60-250 Omm, the second layer is characterized by a range of ER from 10-35 Omm and a power of about 1.7-2.0 m., the ER of the third layer is in the range of 25-110 Omm. The depth of the study on the eastern side is about 4 m. and on the northern side is about 4.5 m. from the daytime surface.

It should be noted that the ER of the second (10-35 Omm) and third (45-110 Omm) layers on the ET section along the northern side (Fig. 2, b) are on average 1.7 times less than the values of the ER of the same layers (10-20 Omm and 25-75 Omm, respectively) on the ET section of the eastern side.

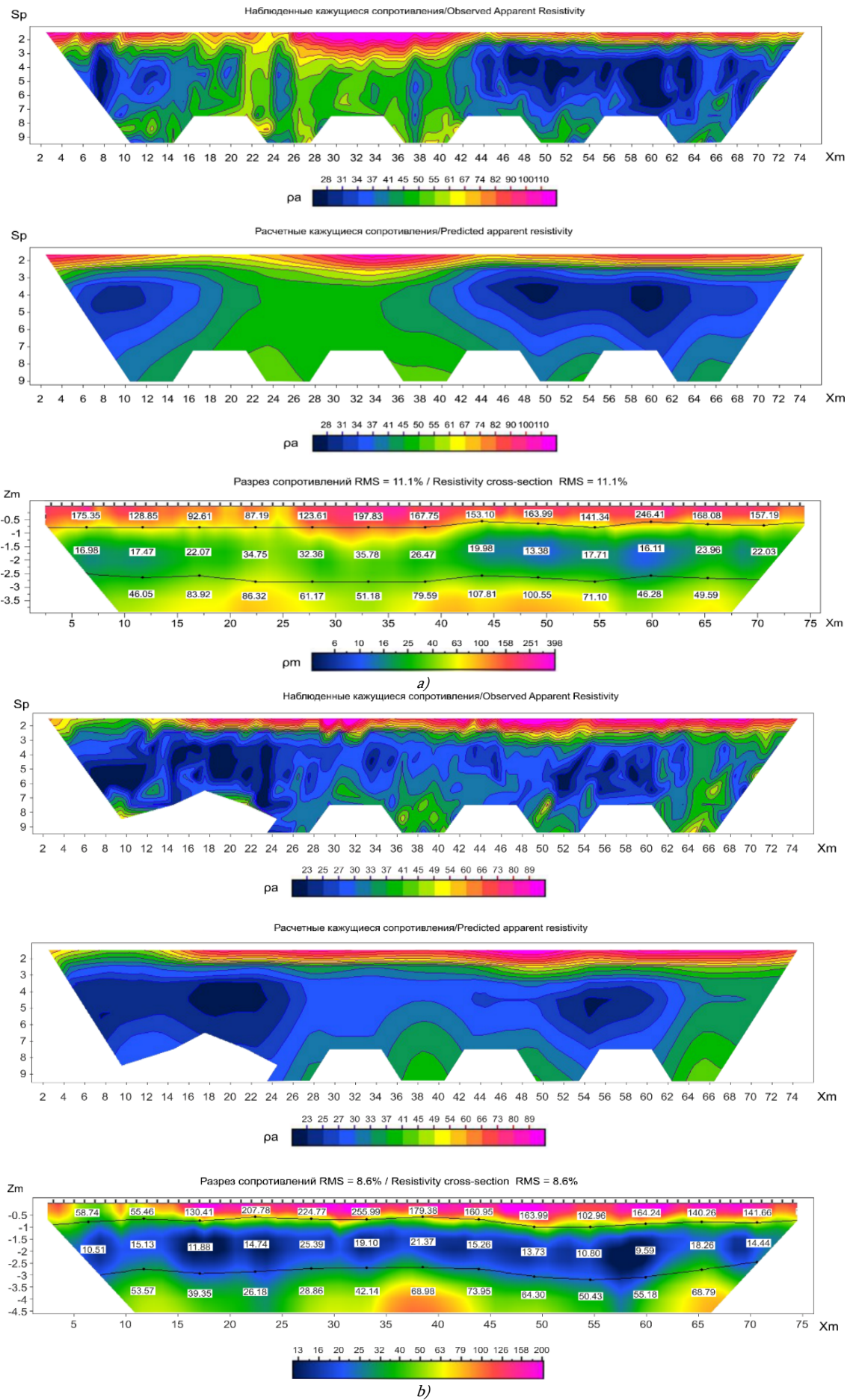


Fig. 2. Geoelectric sections: a - eastern side; b - northern side.

As a result of a visual examination of the physical condition of the sides and the bowl of the studied sludge storage, subsidence of soil was recorded in the storage bowl and on the inside of its sides – along PK 44-65 of the eastern ET profile and along PK 23-57 of the northern ET profile. Taking into account the low values of the ER of the second layer on both ET sections on these pickets, it can be assumed that the water-proof screen in the bodies of the enclosing sides is broken and fluids are migrating from the bowl outside the storage.

Seismic exploration of MRW at the "Carbon farm"

The research site is located on the territory of a former landfill, recultivated by filling waste with soil and planting trees. The objective of the study is to clarify the boundary of the sole of the technogenic soil in order to determine its thickness later. To solve it, seismic exploration by the method of refracted waves (MRW) was carried out. The choice of the method is due to the efficiency of the MRW in solving the problems of identifying shallow boundaries and determining the velocity of individual layers [6].

The seismic survey was carried out in the form of separate seismic sounding according to the profile system. The development of each profile included from three to four arrangements of seismic receivers of 94 meters each. The waves were recorded using a 48-channel linear seismic station LACCOLIT-48M4. The pitch of the seismic receivers was 2 meters, and the total length of the hodograph was 94 m., which made it possible to study the section to a depth of 20 m. In total, 11 physical observations were performed at the pickets of the excitation points. Longitudinal and transverse waves were recorded sequentially. The excitation of seismic waves was carried out by blows of a sledgehammer weighing 8 kg on a metal plate mounted on the ground. Transverse waves were excited by multidirectional impacts on the +YY and -YY system. Observation system – counter and catching up hodographs.

Based on the results of processing, seismic sections of longitudinal (fig. 3, a) and transverse (Fig. 3, b) velocities (V_p and V_s) for each profile are constructed.

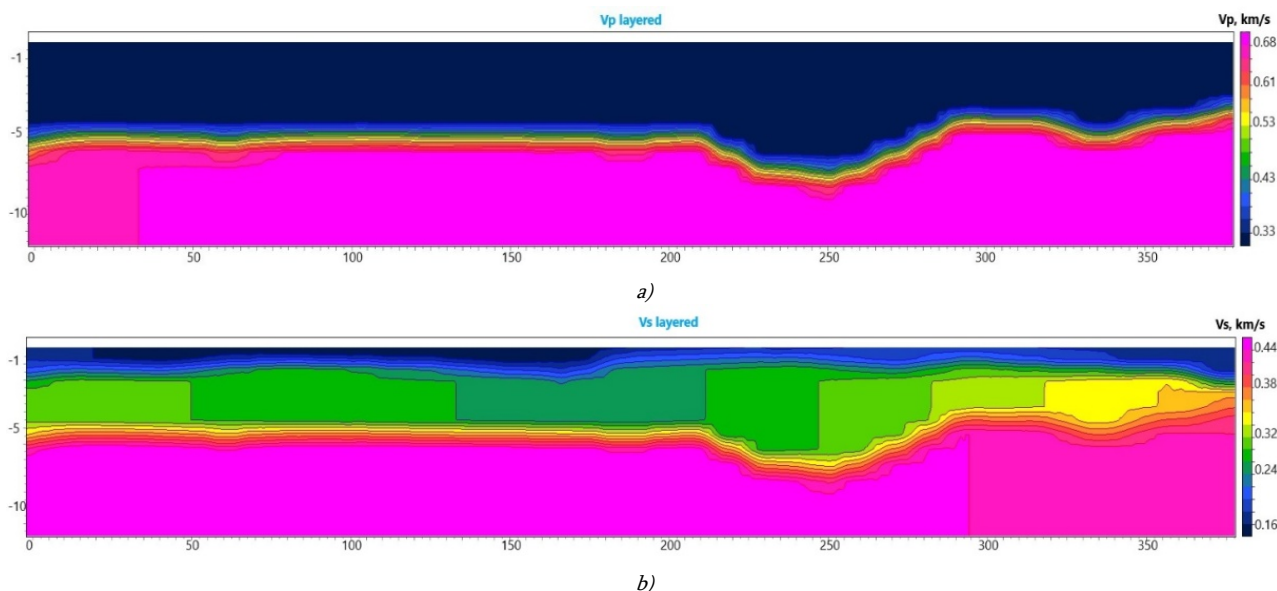


Fig. 3. Example of seismic sections of longitudinal (a) and transverse (b) velocities.

The resulting sections clearly reflect the sole of the bulk and the roof of the untouched soil. This boundary is uniquely distinguished by the differentiation of velocities. The boundaries are distinguished by both longitudinal V_p and transverse V_s velocities, are identical and are observed at the same depth. This, in turn, indicates that the groundwater is located at depths below those studied. On the section constructed according to the transverse velocity data, a bulk layer is also allocated, which was used to seal the waste.

According to the results of the conducted studies, seismic sections were obtained according to the data of registration of longitudinal and transverse velocities, a map of the bulk soil capacity was constructed (Fig. 4).

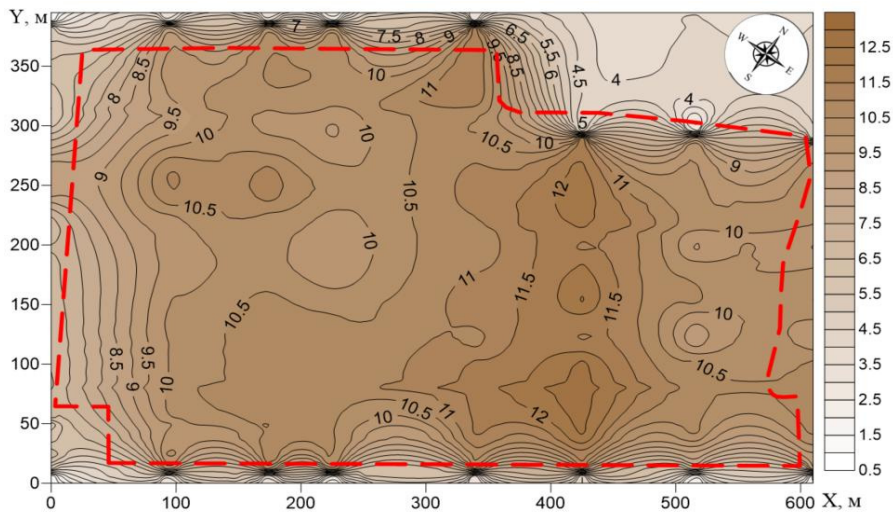


Fig. 4. Map of bulk soil capacity.

Conclusions

Based on the results of electrotomography, the following conclusions were made: 1. The registered values of the ER are typical for sites contaminated with waste from petrochemical production; 2. Two anomalies were identified – a large (linearly elongated) one crossing the storage of waste from petrochemical production in the middle, and a small (locally limited) one in the northern part of the site. The first anomaly with a high degree of probability indicates the presence of a clay partition under the technogenic soil; 3. Subsidence of the soil indicates a violation of the waterproof screen, as a result of which contamination is likely to spread beyond the sludge storage.

The results of seismic studies allow us to draw the following conclusions: 1. The boundaries of undisturbed and man-made soils are confidently distinguished at all sections by the difference in speeds. The velocities of longitudinal waves from 240 to 330 m/s in the field of transverse waves from 110 to 240 m/s are characteristic of technogenic soil; 2. According to the ratio of the magnitude of the velocities to a depth of 11-12 meters, the section appears to be waterless; 3. Comparison of the obtained values of the velocities of technogenic nature with literary sources and the experience of previously performed works indicates the compaction of the layer waste recently, almost to the state of natural soil.

The work was carried out within the framework of the state task of the GSTOU named after academician M.D. Millionshchikov No. FZNU-2021-0012 "Integrated interpretation of geophysical and geoecological data for the study of greenhouse gas balance"

References

- [1] Bogoslovsky V.A., Zhigalin A.D., Khmelevskoy V.K. Ecological geophysics. Study guide. // Moscow: Moscow State University, 2000, 254 p.
- [2] Karin Yu.G., Yurkevich N.V. An approach to processing electrotomography data for estimating the volumes of tailings storage substances. // Interexpo Geo-Siberia. Vol. 2. No. 2. Novosibirsk, 2021, pp. 62-66.
- [3] Kerimov I.A., Makhmudova L.Sh., Myachina K.V., Pridacha V.B., Elzhaev A.S., Badaev S.V., Batukaev A.A., Doduev A.A., Duskaev M.Z., Mamadiyev N.A. Carbon landfill of the Chechen Republic: II. Research methods and first results. // Grozny Natural Science Bulletin, Tom 7, № 4 (30), 2022, pp. 62-78.
- [4] Kerimov I.A., Elzhaev A.S., Doduev A.A. Carbon landfill of the Chechen Republic: III. Geophysical research on a carbon farm. // Izvestiya DGPU, Natural and exact sciences, Vol.16, No. 4, 2022, pp. 60-67.
- [5] Pystin V.N., Tupitsyna O.V., Bukin A.A., Chertes K.L. Geophysical surveys and criteria for the applicability of biological methods in the reclamation of oil-contaminated territories. // Environmental protection in the oil and gas complex. Moscow: Publishing house "Gubkin", 2022. № 3(306). Pp. 12-19.
- [6] Romanov V.V., Ivanov A.A., Kaurkin M.D. Engineering seismic exploration in the study of landfills. // Materials of the annual session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on problems of geoecology, engineering geology and hydrogeology, RUDN Publishing House, 2018, pp. 142-146.
- [7] Doolittle, J.A., Brevik, E.C. The use of electromagnetic induction techniques in soils studies. // Geoderma, 223, 2014, pp. 33-45. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.01.027>.
- [8] Romero-Ruiz A., Linde N., Keller Th., Or D. A review of geophysical methods for soil structure characterization. // Reviews of geophysics. Vol. 56, 2018, pp. 672-696.

MODELING THE ANOMALOUS GRAVITATIONAL FIELD OF FAULT-BLOCK STRUCTURES

Kerimov I.A.

Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences
kerimov@ifz.ru

Abstract. Algorithms and computer programs have been developed for calculating the elements of the anomalous gravitational field for a system of fault-block structures. The anomalous gravitational field was calculated for various types of models. Criteria for identifying faults and fracture zones on maps of higher derivatives of the gravitational field have been determined. Standard geological-density models have been created for characteristic fault-block structures. Based on calculations using the F-approximation method, a W_{zzz} map was constructed and the fault systems of the Terek-Sunzha anticlinal zone were identified.

Keywords: gravitational field, modeling, faults, fracturing, F-approximation, transformations

In connection with the reduction of oil and gas reserves in the Mesozoic deposits of the North Caucasus in recent years, the search and exploration of hydrocarbon deposits associated with non-structural traps in the Cenozoic deposits is very relevant. Non-structural hydrocarbon traps are in most cases confined to deep fault zones. One of the promising directions in the North Caucasus is in zones of increased fracturing in the upper horizons of the sedimentary cover. One of the effective ways to predict fracture zones is detailed gravimetric survey. In this regard, there is a need to improve existing and develop new methods for interpreting gravimetric data.

The F-approximation method for anomalous gravitational and magnetic fields, developed within the framework of the method of linear integral representations by V.N. Strakhov, is completely adequate to real geophysical practice and allows us to get rid of various idealizations (idealization of a flat field; idealization of the ground-air interface as an infinite horizontal plane; idealization of the continuous assignment of one or another field element on an infinite horizontal plane or a piece of this plane; idealization of the assignment of one or another another field element at the nodes of a regular geometric network, etc.).

The F-approximation method developed by the author within the framework of the theory of integral representations allows us to solve in a fundamentally new way a number of issues of transformation of potential fields given on an irregular and different-height network:

$$W_a(x), \quad x = (x_1, x_2, x_3) \quad (1)$$

The results of testing the method on model and actual geophysical data specified on an irregular network allowed us to conclude that the field reconstruction is highly accurate by F-approximation [1-8]. As shown by modeling the anomalous gravitational field of a system of differently oriented faults, the most effective way to trace them is to use the third vertical derivative W_{zzz} of the gravity potential. Previously [4, 5] an expression was obtained for W_{zzz} for a given arbitrary network of design points:

$$W_z(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{3}{2\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{(2z_{k,l}^2 - 3p_{k,l}^2) \cdot z}{(z_{k,l}^2 + p_{k,l}^2)^{\frac{7}{2}}}, \quad (2)$$

where

λ_i - Lagrangemultipliers;

$$p_{k,l} = \sqrt{(x_{1,k} - \xi_{1,l})^2 + (x_{2,k} - \xi_{2,l})^2};$$

$$z_{k,l} = x_{3,k} + \xi_{3,l} + 2H.$$

The expression for W_{zzz} based on the F-approximation is as follows:

$$W_{zzz}(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{75}{\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{z_{k,l} (8z_{k,l}^4 - 40\rho_{k,l}^2 z_{k,l}^2 + 15\rho_{k,l}^4)}{(z_{k,l}^2 + \rho_{k,l}^2)^{5.5}} \quad (3)$$

This expression allows to find the spatial distribution of W_{zzz} based on the F-approximation in a given network of design points.

Model and practical examples demonstrate the effectiveness of solutions based on F-approximation for a wide range of important practical problems:

- Restoring the values of potential fields at the nodes of a regular network, taking into account the difference in height of the source and result points (3D interpolation).
- Elimination of the distorting influence of an anomalous vertical gradient when recalculating the observed field to a horizontal plane or any given surface.
- Filtering of interference that disrupts the harmonic nature of the observed field.

Within the framework of the theory of the F-approximation method, algorithms and computer technologies for 3D transformation have been developed (calculation of higher derivatives of potential fields, analytical continuation into the upper and lower half-spaces of elements of potential fields, separation of anomalous fields). Algorithms and computer technologies for F-approximation of the relief of the earth's surface have also been developed, used to solve various problems of gravimetry, magnetometry, applied cartography, geomorphology, etc. Using a number of real geological and geophysical materials, the effectiveness of using gravimagnetic data for studying fault tectonics and predicting oil and gas promising traps in deep-seated horizons.

To assess the effectiveness of gravimetric methods in studying fault systems and fracture zones, a series of models were developed and the anomalous gravitational field and its derivatives were calculated. To solve the direct problem of gravity survey for vertical linear prisms of various orientations, a program was developed based on the ideas of solving direct problems of gravimetry for field elements from standard approximating bodies.

In Fig. 1 we see the diagram of the arrangement of blocks, representing in plan two rows of 3 prismatic bodies of sub-latitudinal orientation, offset relative to each other by 1 km. Prisms 1, 3, 4 and 5 have the same dimensions 5x15 km, the depth of the upper face is 2 km, the bottom – 5 km. Prisms 2 and 5 have dimensions of 5x20 km, the depth of the upper face is 1.5 km, the bottom – 5 km.

The map of the anomalous gravity field Δg for this model is shown in Fig. 2. This map shows that the anomalous field appears in the form of a complex anomaly, the shape of which does not allow us to unambiguously identify the boundaries of the blocks. On the map of vectors of the horizontal gravity gradient (Fig. 3), sublatitudinal boundaries are distinguished relatively well, while at the same time, meridional boundaries are clearly difficult to identify.

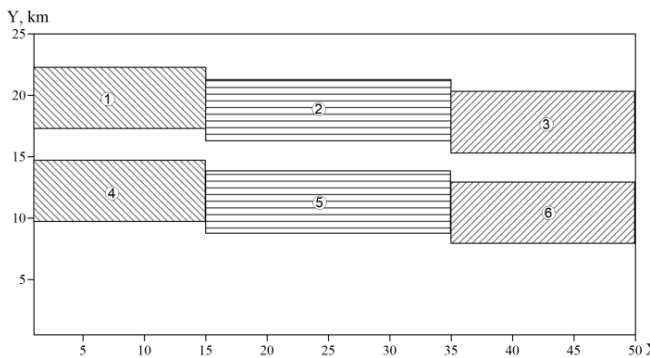


Fig. 1. Layout plan of vertical prisms

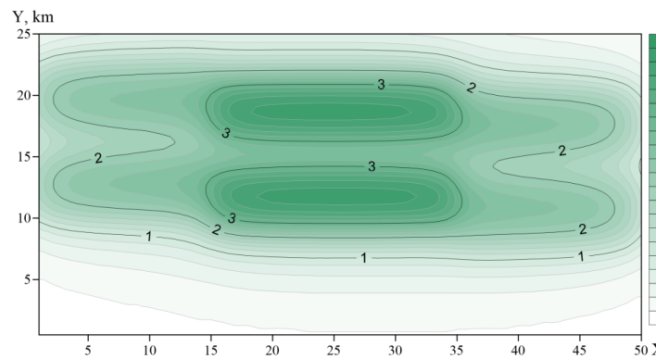


Fig. 2. Map of the anomalous gravity field Δg

On the W_{zzz} map (Fig. 4), built for this model, blocks in the form of quasi-rectangular anomalies are clearly visible, and the displacement of blocks is also clearly visible.

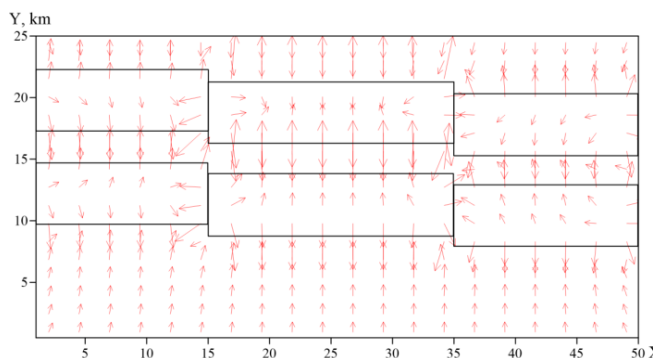


Fig. 3. Map of horizontal gravity gradient vector.

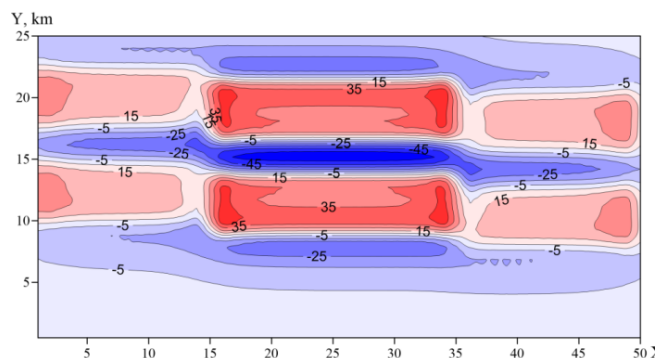


Fig. 4. Map of the third vertical derivative W_{zzz} .

There is a map of W_{zzz} and fault systems of the western part of the Terek-Sunzha anticlinal zone in Fig. 5. When identifying faults, the following features were used on maps of the anomalous gravitational field:

- large gradients of anomalous gravitational field;
- stripes of intense positive or chains of gravity maxima;
- a sharp change in the strike of gravity field anomalies;
- a sharp change in the signs of the anomalous gravitational field;
- change in the general nature of gravitational fields;
- change from the linear shape of weakly expressed anomalies to an isometric one.

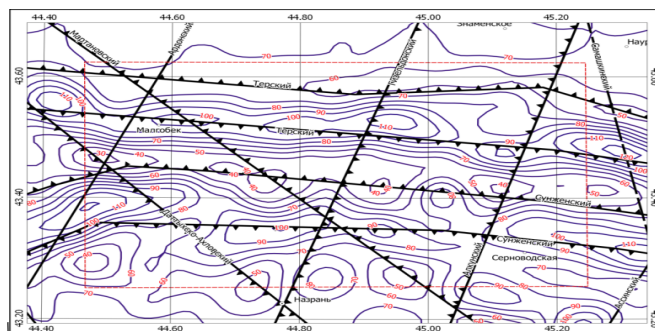


Fig. 5. Map of W_{zzz} and fault systems of the western part Terek-Sunzha anticline zone.

In Fig. 6 shows a comparison of the fault pattern, earthquake epicenters and topography of the described region of the Terek-Sunzha anticlinal zone.

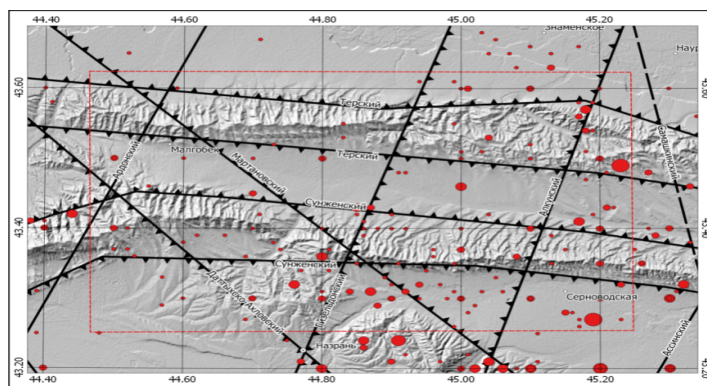


Fig. 6. Map of fault systems and relief of the western part Terek-Sunzha anticline zone.

Conclusions

1. An algorithm and computer program have been developed for calculating the elements of the anomalous gravitational field for a system of faults of various orientations, based on the formulas of V.N. Strakhov.
2. The program was tested on a series of model examples. It has been established that fault-block tectonics and zones of increased fracturing are most clearly reflected in the field of the third vertical derivative W_{zzz} .
3. The F-approximation method is a highly efficient method for calculating higher derivatives for initial data given on a gravity field that is irregular in plan and height.
4. Based on the interpretation of the field of the third vertical derivative W_{zzz} and morphometric analysis of the relief of the earth's surface, the location of faults for the western part of the Terek-Sunzha anticlinal zone was clarified.
5. The epicenters of strong earthquakes, as a rule, are noted at the intersections of faults, while the epicenters of weak earthquakes are noted inside blocks.

References

- [1] Kerimov I.A. Use of F-approximation when interpreting gravity data. I. Methods and results of testing on model examples. // *Physics of the Earth*, No. 1, 2003, pp. 57-76.
- [2] Kerimov I.A. Use of F-approximation when interpreting gravity data. II. The results of testing on the materials of gravimetric and magnetometric surveys". // *Physics of the Earth*, No. 5, 2009, pp. 77-93.
- [3] Kerimov, I.A. F-approximations of the relief of the earth's surface. // *Physics of the Earth*, No.8, 2009, pp. 101-112.
- [4] Kerimov I.A. F-approximation method for solving problems of gravimetry and magnetometry. // Moscow, Fizmatlit, 2011.
- [5] Kerimov I.A. Calculation of the higher derivatives of the gravitational potential based on the F-approximation. // *Geology and Geophysics of the South of Russia*, No. 3, 2016, pp. 65-84.
- [6] Kerimov I.A., Stepanova I.E., Raevsky, D.N. Combined Approximation Methods for Solving Gravity and Magnetic Problems. // *Geology and Geophysics of the South of Russia*, No. 3, 2018, pp. 37-50.
- [7] Stepanova, I.E., Kerimov, I.A., Raevsky, D.N., Shchepetilov, A.V. On improving methods for processing large amounts of data in geophysics and geomorphology based on modified S- and F-approximations. // *Physics of the Earth*, No. 3, 2020, pp. 82-97.
- [8] Stepanova I.E., Kerimov I.A., Yagola A.G. Approximation approach in various modifications of the method of linear integral representations. // *Physics of the Earth*, No 2, 2019, pp. 31-46.
- [9] Strakhov, V.N., Kerimov, I.A. Approximation constructions of spectral analysis (F-approximation) of gravimetric data. // *Physics of the Earth*, No. 12, 2001, pp. 3-20.

ლანდშაფტების პერცეფცია: პერსპექტიული მიმართულება კონსერვაციულ გეოგრაფიაში

ჯამასპაშვილი ნ.

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო
neli.jamaspashvili@tsu.ge

ანოტაცია. ცნობილია, რომ ლანდშაფტი არის გეოსისტემის გარეგანი გამოვლინება, ბუნებრივ-ტერიტორიული, ბუნებრივ-აგრარული, საცხოვრებელი და სხვა ტერიტორიული კომპლექსების ფიზიკურ-ნომიური კომპონენტების ერთობლიობა. ამ კომპონენტებში შედის: რელიეფი, მცენარეულობა, ნაწილობრივ შიდა წყლები, ადამიანის საქმიანობის შედეგები (ქალაქები, სამრეწველო ობიექტები და სხვ.).

იმავდროულად, ლანდშაფტის ცნებაც სუბიექტურია, ვინაიდან პერცეფცია, ლანდშაფტის აღქმა მჭიდრო კავშირშია კონკრეტულ ინდივიდთან ან ადამიანთა ჯგუფთან (Rougerie, Beroutchachvili, 1991; ჯამასპაშვილი, 1999, 2000, 2002). თითოეული ეპოქა თუ ეთნიკური ჯგუფი ქმნის ლანდშაფტის თავის ტიპურ „გამოსახულებას“ და იყენებს ან გარდაქმნის ამ ლანდშაფტს, ლანდშაფტის „იმიჯის“ გაბატონებული სტერეოტიპის მიხედვით (გ. ისაჩენკო, 1999). მაღალგანვითარებულ ქვეყნებში ამა თუ იმ ტერიტორიის ეკოლოგიური შეფასების გარდა, დიდ ყურადღებას აქცევენ ესთეტიკურად ლამაზი პეიზაჟების შექმნას. საფრანგეთში არსებობს პეიზაჟების უმაღლესი სკოლა, სადაც მხოლოდ უმაღლესდამთავრებულებს იღებენ, კურსდამთავრებულთა სადიპლომო ნაშრომი მოიცავს კონკრეტული ტერიტორიის ესთეტიკურ გაუმჯობესებას. მაგრამ ამისათვის აუცილებელია პერცეფციის საკითხების შესწავლა (French school - Landscape perception by J. Weiber, F. Brossard, J. Rougeri). ლანდშაფტების შესწავლისა და აღწერის სხვადასხვა ვარიანტები განხილულია მონოგრაფიაში, რომელიც პარიზში გამოქვეყნდა „Geosystemes et paysages“ (Rougerie et Beroutchachvili, 1991). ლანდშაფტების პერცეფცია დიდ გავლენას ახდენს ტერიტორიის ძირითად ლანდშაფტურ ეკოლოგიურ, ესთეტიკურ, რეკრეაციულ მაჩვენებლებზე და შეფასებაზე, უნიკალური ლანდშაფტების გამოვლენაზე. სტატიაში განხილულია პერცეფციის კრიტერიუმების დადგენის საკითხები. მოცემული კრიტერიუმების საფუძველზე რაჭის ლანდშაფტები დაიყო სამ ჯგუფად: მაღალი, საშუალო და დაბალი ლანდშაფტურ-ეკოლოგიური, ესთეტიკური, რეკრეაციული მნიშვნელობის ლანდშაფტებად, რომლებიც ნაჩვენებია სათანადო რუკებზე.

საკვანძო სიტყვები: პერცეფცია, ლანდშაფტური მრავალფეროვნება, კონსერვაციული გეოგრაფია.

შესავალი. პერცეფცია (ლათინური perceptio-დან, პირდაპირი მნიშვნელობით ნიშნავს წარმოდგენას, აღქმას) არის კოგნიტური (შემეცნებითი) პროცესი, რომლის დროსაც ხდება ფსიქიკაში რეალური სინამდვილის ასახვა, საგნის ან მისი ცალკეული თვისების უშუალო განცდა. პერცეფცია გეოგრაფიაში ნიშნავს ბტკ-თა (ბუნებრივ-ტერიტორიული კომპლექსი) პიროვნების, ან პიროვნებათა ჯგუფის მიერ აღქმას [1,2]. ეს ტერმინი მჭიდრო კავშირშია ტერმინ „პეიზაჟთან“. „პეიზაჟი“ - ფრანგული სიტყვაა და გეოგრაფიაში მას ზოგჯერ „ლანდშაფტის“ სინონიმადაც იყენებენ, მაგრამ ხშირად მასში ლანდშაფტის სუბიექტურ ხედვასაც გულისხმობენ. „პეიზაჟის“ განზომილებებია: სიგრძე, სიგანე, სიმაღლე, დრო და პერცეფცია. ყველა ადამიანი ერთნაირად არ აღიქვამს ლანდშაფტს. ლანდშაფტის აღქმა სუბიექტების მიერ უშუალოდ არ ხდება. იგი გადის ე.წ. „პერცეფციულ პრიზმას“ და შემდგომ აღწევს იგი სხვადასხვა სუბიექტამდე. პერცეფციული პრიზმა დაკავშირებულია ადამიანის მრავალ თვისებებზე: სქესზე, ასაკზე, გამოცდილებაზე, საცხოვრებელ ადგილზე, განათლებაზე და ა.შ. გარდა ამისა, პერცეფციაზე გავლენას ახდენს სხვადასხვა ფაქტორები: ფიზიოლოგიური; ფსიქოლოგიური; სოციალური; ეკონომიკური; პოლა-

რული (*პოლარული* - კონფლიქტური სიტუაცია, მაგ., როცა სუბიექტს მოსწონს ესა თუ ის ხედი, მაგრამ ეკონომიკური პირობები არ აძლევს მას ამის კარგად აღქმის საშუალებას).

ვინაიდან ლანდშაფტების პერცეფციას კავშირი აქვს ამა თუ იმ ლანდშაფტის სუბიექტურ აღქმასთან, ცხადია რომ მისი შესწავლა მთელ რიგ თავისებურებებთანაა დაკავშირებული. ადამიანების ფართო წრისთვის, ლანდშაფტები წარმოადგენენ „ღირებულებას“ მათი ბიოლოგიური ან კულტურული უნიკალურობის გამო. ეს შეიძლება იყოს მაღალი ბიომრავალფეროვნების, წმინდა კორომებისა, რელიგიური კულტების და სხვა ობიექტების არსებობა. ბევრ ქალაქსა და რეგიონის ეკოლოგიური მდგომარეობა მთლიანად შეიძლება განისაზღვროს მათ გარშემო არსებული ლანდშაფტების მდგომარეობით. ტრადიციული სოფლის ცხოვრების წესის მქონე ადამიანების საცხოვრებელი პირობები დიდწილად დამოკიდებულია სოფლებისა და დასახლებების მიმდებარედ არსებული ლანდშაფტების მდგომარეობისა და გამოყენების რეჟიმზე.

მასალები და მეთოდები. პერცეფციის შესწავლის სამი მეთოდი არსებობს: 1. პირდაპირი, როცა დაკვირვებები უშუალოდ ხდება; 2. არაპირდაპირი, იგი ანალიზური მეთოდია; 3. სივრცის ანალიზის მეთოდი, როდესაც თითოეულ სურათს აქვს რამდენიმე ადგილის გეგმა, მაგ: პირველ პლანზე შეიძლება იყოს ხეები, მეორეზე მინდვრები, მესამეზე მთები და ა.შ. ამ დროს ხდება ამ გეგმების ცალ-ცალკე ანალიზი. იკვლევენ ამაღლებულ თუ ჩადაბლებულ წერტილებს, გარდატეხის ხაზებს, რაკურსებს, გეგმების რაოდენობას და სხვ. როგორც წესი, ასევე გამოიყენება სოციოლოგიისა და ფსიქოლოგიის მეთოდები.

მაგრამ ხშირად პერცეფციული შეფასება არ ეთანხმება ამ მეთოდებს, ვინაიდან ადამიანს აქვს ხუთი შეგრძნება: *მხედველობა, ყნოსვა, შეგრძნება, გემო და სმენა*. ანალიზის დროს ამ შეგრძნებებზე სხვადასხვა პროცენტი მოდის: *მხედველობის* წილად მოდის 85%, *სმენაზე* 10%, *ყნოსვაზე* 5% და ა.შ. მაგრამ მხედველობა არ არის დომინანტი ფაქტორი. მაგ: ლამაზი პეიზაჟის ყურებისას პარალელურად ვისმენთ ხმაურს, ან ვგრძნობთ ცუდ სუნს. ასეთ შემთხვევაში, პეიზაჟის სილამაზის აღქმა შემცირებულია. ამრიგად, თუ რომელიმე ფაქტორი კრიტიკულ დონეზე გადის, მაშინ აღქმის პროცესი არასწორია. პერცეფციის ექსპერტი უშუალოდ ველზე აფასებს პეიზაჟს, აწარმოებს რა გამოკითხვას პეიზაჟის შესახებ - ინტერვიუების სახით: *ინდივიდუალურად* (ამ მეთოდს ნაკლიც აქვს, რადგან სუბიექტი პეიზაჟის ხილვისას კარგავს უშუალოებას და უკვე თვით პეიზაჟითაა დანტერესებული); *ტესტების სახით* (ისმება ურთიერთსაწინააღმდეგო კითხვები და ამ დროს მეთოდი შედარებით ზუსტია, რადგან გამოირიცხება სუბიექტის მიერ საკუთარი ინტერესების გამოხატვის სურვილი).

ასევე გამოიყენება ზოგიერთი შეფასების პარამეტრი, როგორცაა ლანდშაფტურ - ეკოლოგიური შეფასება, ესთეტიკური შეფასება, რეკრეაციული შეფასება და ლანდშაფტის ან მისი შემადგენელი ნაწილის (რომელიმე ბუნებრივ-ტერიტორიული კომპლექსის) უნიკალურობა. ეს ყველაფერი საშუალებას იძლევა (გარკვეული სიფრთხილით) გამოიყენოს ზემოაღნიშნული ინდიკატორების ქულების ჯამი. ეს ქულები საშუალებას აძლევს ექსპერტს შეადაროს სხვადასხვა ბტკ-ები და გამოიყენოს გარკვეული ხარისხობრივი და რაოდენობრივი კრიტერიუმები ანალიზის დროს [1,8,9]. ამათ ემატება ე.წ. „საავტორო ქულა“, რომლის მინიჭებას ექსპერტი აკეთებს თავისი მოსაზრების გამო. ამგვარად, ლანდშაფტს, რომელიც ყველაზე მაღალ შეფასებას იღებს ექნება 10 ქულა. ლანდშაფტის პერცეფციული შეფასების დროს ყველა ლანდშაფტი იყოფა 3 ჯგუფად: 1. მაღალი 8-10 ქულა; 2. საშუალო 4-7; 3. დაბალი 3-ზე ნაკლები.

ლანდშაფტის შიდა მრავალფეროვნება კარგად არის შესწავლილი. არსებობს მონაცემები როგორც ლანდშაფტების ჰორიზონტალურ, ასევე ლანდშაფტების ვერტიკალურ და დროითი სტრუქტურებზე. ეს მახასიათებლები დეტალურადაა განხილული მონოგრაფიაში „კავკასია. ლანდშაფტები, მოდელები, ექსპერიმენტები“ [3]. მონოგრაფიებში: ბიოლოგიური და ლანდშაფტური მრავალფეროვნება [6]; Geographical Perspectives on Sustainable Development (Beruchashvili N..., 2004) [11]. ლანდშაფტის კვლევის მეთოდოლოგიის საფუძვლები (ლანდშაფტურ-გეოგრაფიული და ლანდშაფტურ-გეოფიზიკური კვლევის მეთოდიკები) აღწერილია სახელმძღვანელოებში [4,5]. და სხვ. ბუნებრივ-ტერიტორიული კომპლექსის უნიკალურობის შეფასების პარამეტრი და საქართველოს ხელუხლებელი ლანდშაფტების იდენტიფიკაციის მეთოდიკა განხილულია შრომებში (ავტორი ბერუჩაშვილი ნ. ნ., 2000, ..., 2017) [10]. მნიშვნელოვან სამეცნიერო რესურსს წარმოადგენს კავკასიის ეკორეგიონის წითელ წიგნებში შეტანილ სახეობებზე

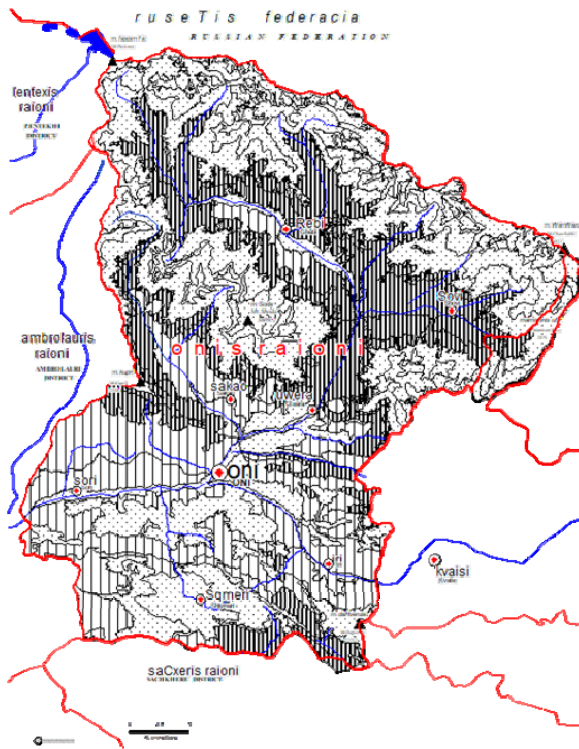
შედგენილი GIS-ები და მონაცემთა ბანკი (ავტორი ბერუჩაშვილი ლევან, 2001,...., 2017) [15]. კონსერვაციული გეოგრაფიის საკითხები განხილულია [7-9]. ასევე გამოყენებულ იქნა რიგი კარტოგრაფიული და სხვა წყაროები: მათ შორის კავკასიის ლანდშაფტური რუკა [12]; საქართველოს ლანდშაფტების (სახეების დონეზე) რუკა და GIS-ი (პროექტის სამეცნიერო ხელმძღვანელი ნელი ჯამასპაშვილი, 2012)[14]; ონის რაიონის სავსე გამოკვლევათა შედეგები, ბტკ-ს მდგომარეობის აღწერის ბლანკები, აეროფოტოსურათები და სხვ.

შედეგები. თავდაპირველად კვლევის ობიექტი გახდა ონის რაიონის ტერიტორია [9]. სტატიაში ჩვენ ვერ განვიხილავთ ონის რაიონის ფიზ-გეოგრაფიული, ჰიფსომეტრიულ, ოროგრაფიულ და სხვ. მაჩვენებლებს, გეოდინამიკური პროცესებს, რომლებიც გავრცელებულია თითქმის მთელს ტერიტორიაზე (მათი განვითარება დამოკიდებულია რელიეფის მორფომეტრულ-მორფოლოგიურ თავისებურებებზე, ამგებელი ქანების ლითოლოგიაზე, სეისმო-ტექტონიკურ პირობებზე და კლიმატზე). ეგზოდინამიკური პროცესებიდან აღსანიშნავია ღვარცოფები, მეწყერები, კალაპოტის პროცესები, თოვლის ზვავები, კლდეზვავები, კარსტული და მყინვარული პროცესები.

ონის რაიონის ლანდშაფტები მიეკუთვნება ლანდშაფტების მთის ლანდშაფტების კლასს. ამ კლასის ფარგლებში გამოიყოფა ლანდშაფტის 4 ტიპი: 1. მთის ზომიერად თბილი ჰუმიდური (აქ გამოიყოფა 2 ქვეტიპი: ქვედა მთის ტყის კოლხური და საშუალომთის კოლხური); 2. მთის ზომიერად ცივი ჰუმიდური (2 ქვეტიპით: საშუალომთის მუქწიწვიანი ტყის და ზედამთის ტყის); 3. მაღალმთის მდელოს (გამოიყოფა 3 ქვეტიპი: სუბალპური, ალპური და სუბნივალური); 4. გლაციალურ-ნივალური (ქვეტიპები არ გამოიყოფა). სულ ონის რაიონში არის გამოყოფილი 10 ლანდშაფტის გვარი და 48 ლანდშაფტის სახე [3,6,7].

დიდ ინტერესს წარმოადგენს ბიომრავალფეროვნების ანალიზი. ამისათვის ჩვენ გამოვიყენეთ 33 ექპერიმენტალური ნაკვეთის მონაცემები. ამ ნაკვეთებზე ჩატარებული იქნა დეტალური ანალიზი. ამ ანალიზის დროს აღირიცხა სახეობათა საერთო რიცხვი (S). ფლორისტული სიების ანალიზის შედეგად გამოყოფილი იქნა კავკასიური ენდემები (E), სახეობები რომლებიც არის შეტანილი წითელ წიგნში (R), სახეობები რომლებიც არ არის შეტანილი წითელ წიგნში, მაგრამ თავისი ხასიათით უწყალურია (U), და ე. წ. „ძვირფასი ჯიშები“ (Z) [2,15]. ამ მაჩვენებლების საერთო ჯამი გვაძლევს ბიომრავალფეროვნების ინდექსს (IBD1): $IBD1=S+E+R+U+Z$ [2]. ეს მონაცემები შეყვანილ იქნა სპეციალურ ცხრილში და ამ ცხრილის საფუძველზე გაკეთდა ბიომრავალფეროვნების რუკა. ონის რ-ის მაქსიმალური ბიომრავალფეროვნება ახასიათებს ზედამთის ტყის და მაღალმთის სუბალპურ ლანდშაფტებს. ყველაზე დაბალი ბიოლოგიური მრავალფეროვნების მაჩვენებელი (25-ზე ნაკლები) დაკავშირებულია საშუალო მთის მუქწიწვიანი ტყის ლანდშაფტებთან. საშუალო ბიოლოგიური მრავალფეროვნება ახასიათებს რაჭის ქვაბულის ქვედა მთის ტყის და საშუალო მთის წიფლნარი ტყის ლანდშაფტებს (30-დან 50-ის ფარგლებში მერყეობს).

ლანდშაფტებს მრავალი *ლანდშაფტურ-ეკოლოგიური ფუნქცია* ახასიათებს [9,11,13]. ამ ფუნქციათაგან ონის რაიონისათვის ყველაზე მნიშვნელოვანია ტყეების მიერ ჟანგბადის გამოყოფა და ეროზია-საწინააღმდეგო ფუნქცია. რაც უფრო მძლავრია ტყის საფარი, მით უფრო ნაკლებია ეროზიის საშიშროება. რაც უფრო დიდია ბიომასა და უფრო დიდი დაქანება ახასიათებს ფერდობს მით უფრო მაღალია ტყის ლანდშაფტის *ლანდშაფტურ-ეკოლოგიური მნიშვნელობა* და პირიქით, რაც დაბალია ფერდობის დაქანება და ფიტომასის რაოდენობა, მით უფრო დაბალია ლანდშაფტის *ლანდშაფტურ-ეკოლოგიური მნიშვნელობა*. ლანდშაფტურ-ეკოლოგიური მნიშვნელობა დაყოფილი იქნა 3 დიდ ჯგუფად: 1. მაღალი ლანდშაფტურ-ეკოლოგიური მნიშვნელობა; 2. საშუალო ლანდშაფტურ-ეკოლოგიური მნიშვნელობა; 3. დაბალი ლანდშაფტურ-ეკოლოგიური მნიშვნელობა.



როგორც ლანდშაფტურ-ეკოლოგიური შეფასების რუკიდან (ნახ.1.) ჩანს, ყველაზე მაღალი ლანდშაფტურ - ეკოლოგიური მნიშვნელობა ახასიათებს საშუალო მთის მუქწიწვიან ტყეებს, კერძოდ უწერა-ნოწარულა-შოვის მიდამოებს.

- | | | |
|---|----|---------|
| ⬜ | 1. | დაბალი |
| ▨ | 2. | საშუალო |
| ▧ | 3. | მაღალი |

ნახ.1. ონის რაიონი. ლანდშაფტურ-ეკოლოგიური მნიშვნელობის რუკა.

ასევე მაღალი მნიშვნელობა ახასიათებს საკაოს საშუალო მთის მუქწიწვიან და წიფლნარ ტყეებს, ფხონისა და ჯრუჭულას სათავეების ლანდშაფტებს. ზედა მთის ტყის ლანდშაფტში, ბრილის და შოვის მიდამოები მიეკუთვნება იმ ლანდშაფტებს, რომელთაც აქვთ ასევე მაღალი მნიშვნელობა. შქმერი-მრავალძაღვის ზედამთის ლანდშაფტებს კი, იმის გამო, რომ დამრეცი ფერდობები, პლატოები და დეპრესიები ახასიათებს, აქვთ დაბალი ლანდშაფტურ-ეკოლოგიური მნიშვნელობა. საშუალო მთის წიფლნარ ტყის ლანდშაფტებს და რაჭის ქვაბულის ლანდშაფტის დიდ ნაწილს ახასიათებს საშუალო ლანდშაფტურ-ეკოლოგიური მნიშვნელობა. დაბალი ლანდშაფტურ-ეკოლოგიური მნიშვნელობა აქვს რაჭის ქვაბულის იმ ლანდშაფტებს, რომლებსაც ახასიათებთ დამრეცი ფერდობები, მცირე ბიომასა და სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების სიჭარბე.

ლანდშაფტების ესთეტიკური შეფასება მჭიდროდაა დაკავშირებული ცალკეული ადამიანების ან სოციალური ჯგუფების პერცეფციასთან (აღქმასთან). ლანდშაფტების პერცეფციის დროს ჩვენ ვიყენებთ იმ კრიტერიუმებს, რომლებიც მიღებულია ლანდშაფტების ესთეტიკური შეფასების დროს. ეს კრიტერიუმები შემდეგია: 1. ლანდშაფტის ჩაკეტილობა-გახსნილობა. ჩაკეტილი ანუ დახურული ლანდშაფტის ქვეშ იგულისხმება ისეთი ტერიტორია, სადაც ცოტაა ხილვადობის წერტილები. ღია ლანდშაფტის ქვეშ კი იგულისხმება, პირიქით ისეთი ლანდშაფტები, საიდანაც ხილვადობა მაღალია; 2. ლანდშაფტის შიდა მრავალფეროვნება. ის ტერიტორია სადაც მოკლე მანძილზე სხვადასხვა ფაციესები გვხვდება უფრო მაღალ ესთეტიკურ შეფასებას იღებს, ვიდრე ტერიტორია სადაც ერთი მონოტონური ფაციესი ჭარბობს; 3. ესთეტიკური სრულყოფილება. მაღალი ხეებისაგან შემდგარი ტყეები ესთეტიკურად უფრო მოსაწონია, ვიდრე ტანბრეცილა დერივატები. ლანდშაფტის ესთეტიკური შეფასების დროს ყველა ლანდშაფტი იყოფა 3 ჯგუფად: 1. მაღალი შეფასება 8-10 ქულა; 2. საშუალო შეფასება 4-7 ქულა; 3. დაბალი შეფასება 3-ზე ნაკლები. ონის რაიონის მაღალი ესთეტიკური შეფასება ახასიათებს მთიანი რაჭის ლანდშაფტებს და ფხონითამარდედოფლის მიდამოებს. მთის რაჭაში გამონაკლისს წარმოადგენს ღები-ჭიორას მიდამოები, სადაც არის გაბატონებული ძლიერ ეროდირებული ფერდობები, ტყის დერივატებით და ა.შ.

ლანდშაფტის რეკრეაციული შეფასების დროს მხედველობაში ღებულობენ შემდეგ პარამეტრებს: 1. კურორტების ქსელს და ამ კურორტების ხასიათსა და ტევადობის ხასიათს; 2. კურორტების შექმნის პოტენციალურ შესაძლებლობას; 3. ლანდშაფტის ესთეტიკურ შეფასებას; 4. გზების და ბილიკების არსებობას; 5. კულტურული მემკვიდრეობის ან ბუნებრივი ძეგლების არსებობას და მათ პოპულარობას.

მოცემული კრიტერიუმების საფუძველზე რაჭის ლანდშაფტები დაიყო სამ ჯგუფად: მაღალი, საშუალო და დაბალი რეკრეაციული მნიშვნელობის ლანდშაფტები, რომლებიც ნაჩვენებია სათანადო რუკაზე.

ლანდშაფტების უნიკალურობის შეფასებას ექსპერტული ხასიათი აქვს და დამახასიათებელია იმ ტერიტორიებისათვის, რომლისთვისაც ხდება უნიკალურობის განსაზღვრა. ონის რაიონის ლანდშაფტების უნიკალურობის დროს ასეთ ტერიტორიად მიჩნეული იყო კავკასია. ამგვარად, ლანდშაფტების უნიკალურობა ფასდებოდა კავკასიის ლანდშაფტთა ფონზე. რაც უფრო იშვიათია ის ლანდშაფტი, რომელიც გვხვდება ონის რაიონში (კავკასიის მასშტაბით), მით უფრო უნიკალურია იგი და პირიქით, რაც უფრო ფართოდაა გავრცელებული ლანდშაფტები კავკასიაში, მით უფრო ნაკლებად უნიკალურია იგი. ონის რაიონში საკმაოდ კარგად არის წარმოდგენილი ხელუხლებელი ტყეები [10]. ისინი წარმოადგენენ ქვეყნის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან პოტენციალს და მათ უნდა მოვეპყრათ განსაკუთრებული პასუხისმგებლობით. ლანდშაფტების უნიკალურობის ექსპერტული შეფასება ნაჩვენებია სპეციალურ რუკაზე.

დასკვნები. საქართველოს ცალკეული რეგიონების ბიოლოგიური და ლანდშაფტური მრავალფეროვნების შესწავლა ძალზე მნიშვნელოვანია. ლანდშაფტების პერცეფცია დიდ გავლენას ახდენს ძირითად ლანდშაფტურ-ეკოლოგიურ, ესთეტიკურ, ტერიტორიის რეკრეაციულ შეფასებაზე, უნიკალური ლანდშაფტების გამოვლენაზე. იმის მიხედვით, თუ როგორია ლანდშაფტთა მდგრადობის ხარისხი, მათში ცალკეულ პროცესთა მიმდინარეობის ხასიათი, პროდუქტიულობის სტრუქტურა, ფუნქციონირების და დინამიკის თავისებურებანი, დგინდება ლანდშაფტის მიერ ამათუიმ სოციალურ-ეკონომიკური, გარემოს დაცვითი და სხ. ფუნქციების შესრულების შესაძლებლობა. თითოეულ ლანდშაფტისთვის შედგენილ იყო სპეციალური ბარათი, რომელშიც შედიოდა გამოკითხვა პეიზაჟის (ლანდშაფტის) შესახებ ინტერვიუებისა და ტესტების სახით. შედგენილ იქნა ონის რაიონის კომპიუტერული რუკები და მოხდა მისი ანალიზი. შემუშავდა ხარისხობრივი და რაოდენობრივი პერცეფციის შესწავლის კრიტერიუმები და მეთოდები.

კონკრეტული ლანდშაფტისთვის, ეკოლოგიური მდგომარეობის კომპლექსური შეფასება პერცეფციის მეთოდების გამოყენებით კიდევ ერთი ნაბიჯია საზოგადოებისა და ბუნების ურთიერთობის რთული პრობლემების გადაჭრისკენ.

ლიტერატურა

- [1] Beroutchachvili N., Rougerie G. Geosystemes et Paysages. // Paris, Armand Colin, 1991, 302 p.
- [2] ბერუჩაშვილი ნ., ჯამასპაშვილი ნ. ბიომრავალფეროვნების გეოგრაფიული ანალიზი. // ISSEP, სოროსის საგანმანათლებლო ჟურნალი, თბილისი, 1999, გვ. 11-28
- [3] Беручашвили Н.Л. Кавказ: Ландшафты, Модели, Эксперименты. // UNEP, GRID Arendal, WORLD BANK, Тбилиси, Изд. ТГУ, 1995, 314 с.
- [4] Беручашвили Н.Л., Жучкова В.К. Методы комплексных физико-географических исследований. // Москва, Издательство МГУ, 1997, 320 с.
- [5] Беручашвили Н.Л. Методика ландшафтно-геофизических исследований и картографирования состояний природно-территориальных комплексов. // Тбилиси, Изд-во ТГУ, 1983, 199 с.
- [6] ბერუჩაშვილი ნ. ლ. საქართველოს ლანდშაფტების მრავალფეროვნება და მსოფლიოს ლანდშაფტური მრავალფეროვნების გეოგრაფიული ანალიზი. // წიგნი: ბიოლოგიური და ლანდშაფტური მრავალფეროვნება. თბილისი, WWF-WB, 2000, გვ. 221-250; გვ. 277-294.
- [7] Джамаспашвили Н. Ландшафтное разнообразие центральной части Малого Кавказа. // в сб. Биологическое и ландшафтное разнообразие Грузии, Тб., Изд. WWF-WB, 2000, стр. 179-194.
- [8] Джамаспашвили Н. Некоторые вопросы Консервационной Географии. // Кавказский Географический Журнал, Тбилиси, изд. Универсал, №1, 2002, стр. 116 - 125
- [9] Беручашвили Н.Л., Джамаспашвили Н.Ш. Лесостроительные работы и «Зеленая карта». // Кавказский географический журнал, Тб., изд. Универсал, № 1, Изд. Универсал, 2002, стр. 74-82
- [10] Beruchashvili N. N. Identification and mapping Virgin Landscapes in Georgia. // In: Proc. of International Conference Landscape Dimension of Sustainable Development. Tbilisi, Publishing TSU, 2017, pp. 280-286.
- [11] Beruchashvili N., Chauke M., Sanchez-Crispin A. Geographical perspectives on Sustainable Development. // IGU, Rome., Publishing Rome, Moscow, Beijing, 2004, 64 p. (and CD in English, Spanish, Chinese language)
- [12] Беручашвили Н.Л. Ландшафтная карта Кавказа. // Тб., изд. ТГУ, 1979, масштаб 1:1 000000, 2 П. Л.

- [13] Jamaspashvili N., Maisuradze R., Seperteladze Z., Beruchashvili N.N., Inashvili N., Khardziani T. Book: Georgia Landscape Map and GIS., Sh. Rustaveli National Scientific Foundation. // Tbilisi, Publishing TSU, 2012, 488 p. (in English and Georgian)
- [14] Беручашвили Н.Л. Этология ландшафта и картографирование состояний природной среды. // Учебник: У., Тбилиси: Изд-во ТГУ, 1989, 196 с.
- [15] Beruchashvili L.N. Data Bank and GIS of the Red Book Species of the Caucasus Region. // In: Proc. International Conference Landscape Dimension of Sustainable Development, Tbilisi, Publishing TSU, 2017, pp. 377-384.

PERCEPTION OF LANDSCAPES: PROSPECTIVE DIRECTION IN CONSERVATION GEOGRAPHY

Jamaspashvili N.

Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia

neli.jamaspashvili@tsu.ge

Abstract. It is known that the landscape is an external manifestation of the geosystem, a set of physiognomic components of natural-territorial, natural-agrarian, residential and other territorial complexes. Such components include: relief, vegetation, partially internal waters, results of human activity (cities, industrial objects, etc.). At the same time, the concept of landscape is also subjective, since perception, & perception of landscape is closely related to a specific person or group of people (Rougerie, Beroutchachvili, 1991; Jamaspashvili, 1999, 2000, 2002). Each era or ethnic group creates its own typical "image" of the landscape and uses or transforms this landscape according to the established stereotype of the "image" of the landscape (G. Isachenko, 1999).

For a wide range of people, landscapes represent "value" because of their biological or cultural uniqueness. It can be the presence of high biodiversity, sacred groves, religious cults and other objects. The ecological condition of many cities and regions can be completely determined by the condition of the surrounding landscapes. The living conditions of people with a traditional rural way of life largely depend on the condition and use of the landscapes surrounding the villages and settlements.

In highly developed countries, in addition to the ecological evaluation of this or that area, great attention is paid to the creation of aesthetically beautiful landscapes. In France, there is a high school of landscapes, where only high school graduates are accepted, the diploma thesis of the graduates includes the aesthetic improvement of a specific area. But for this it is necessary to study perception issues (French school - Landscape perception by J. Weiber, F. Brossard, J. Rougeri). Various options for the study and description of landscapes are discussed in a monograph published in Paris "Geosystemes et paysages" (Rougerie et Beroutchachvili, 1991). The perception of landscapes has a great influence on the main landscape ecological, aesthetic, recreational indicators and evaluation of the territory, the emergence of unique landscapes. The article discusses the issues of establishing perception criteria.

Depending on the degree of sustainability of landscapes, the nature of individual processes in them, the structure of productivity, the peculiarities of functioning and dynamics, the ability of the landscape to perform socio-economic, environmental protection and other functions is determined.

For each landscape, a special form was drawn up, which included a survey about the landscape in the form of interviews and tests. Based on the given criteria, the landscapes of Racha were divided into three groups: landscapes of high, medium and low landscape-ecological, aesthetic, recreational value, which are shown on appropriate maps.

Key words: perception, landscape diversity, conservation geography.

**ლანდშაფტის ენერგეტიკა – ბუნებრივი გარემოს ფუნქციონირებისა და რაციონალური
 ბუნებატესარგებლობის ძირითადი გეოფიზიკური მახასიათებელი**

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

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო
 zurab.seperteladze@tsu.ge

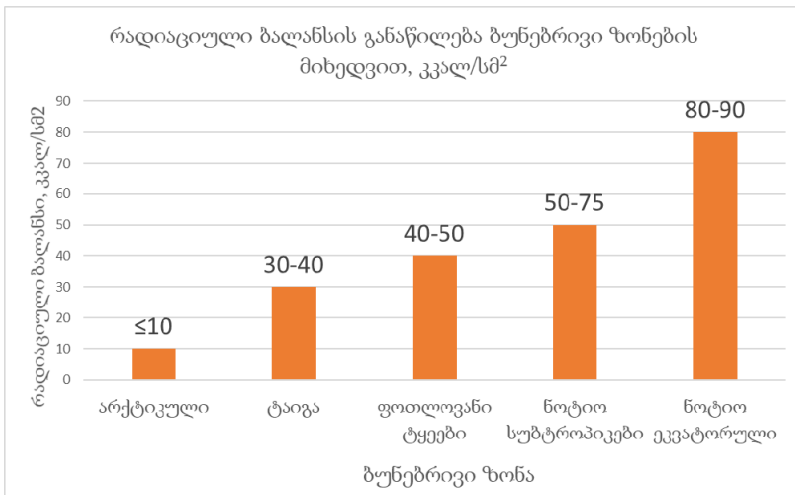
ანოტაცია. თანამედროვე ფიზიკური გეოგრაფიის და კერძოდ, ლანდშაფტმცოდნეობის განსაკუთრებით დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა, პირველ რიგში, გამოიხატება ლანდშაფტების სარესურსო პოტენციალის გამოვლენასა და შესწავლაში, ასევე გარემოს ოპტიმიზაციაში. სარესურსო პოტენციალი კი თავის მხრივ, დიდადა დამოკიდებული ბტკ-ებში ნივთიერებისა და ენერგიის ცვლის ბალანსზე, ანუ ლანდშაფტის ენერგეტიკაზე. ამ შემთხვევაში ერთ-ერთი მნიშვნელოვანია ბუნებრივ-ტერიტორიული კომპლექსების ფუნქციონირების შესწავლა. მისი მეშვეობით შესაძლებელია და შედარებით ადვილად აიხსნება, მოდელირდება და რაც მთავარია, პროგნოზირდება ბტკ-ში მიმდინარე მრავალი რთული პროცესი.

საკვანძო სიტყვები. ლანდშაფტის ენერგია, ოპტიმიზაცია, მზის რადიაცია, ენერგეტიკული ბალანსი.

ლანდშაფტის ფუნქციონირებას თან ახლავს ენერგიის წარმოქმნა, გარდაქმნა, დაგროვება და გამოთავისუფლება. ენერგიის პირველადი წყაროები ლანდშაფტში ხვდება გარედან – კოსმოსიდან და მიწის წიაღიდან. მზის ენერგიის მეშვეობით ხორციელდება შიდაცვლის პროცესები ლანდშაფტში, ტენზიონის, ტრანსპირაციისა და ბიოლოგიური მეტაბოლიზმის ჩათვლით [5]. უნდა ითქვას, რომ ლანდშაფტში მიმდინარე ყველა პროცესი და ასევე, კომპონენტორის ორგანიზაციული კავშირები, პირდაპირ თუ ირიბად დაკავშირებულია მზის ენერგიის ტრანსფორმაციასთან, რაც ბტკ-ებში მიმდინარე ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პროცესია, რომელიც თავის თავში მოიცავს რადიაციულ და სითბურ ბალანსს, ასევე ალბედოს. ისინი ლანდშაფტის ენერგეტიკის განმსაზღვრელი მნიშვნელოვანი მახასიათებლებია, რასთანაც არის დაკავშირებული ბტკ-ს ფუნქციონირების წლიური, სეზონური და დეკადური ხასიათი [2].

რაც შეეხება რადიაციული ბალანსის სიდიდეს, მზის ენერგიის ის ნაწილია, რომელიც რჩება ბტკ-ში და იხარჯება მასში მიმდინარე პროცესებზე, როგორცაა: სითბოცვლა ნიადაგთან, ტურბულენტური თბოცვლა ატმოსფეროსთან, სითბოს ხარჯვა აორთქლებაზე, ფოტოსინთეზზე და სხვ. ბუნებრივია, რომ ეს მაჩვენებელი განსხვავდება ბუნებრივი ზონებისა და ცალკეული რეგიონების მიხედვით (სურ.1). ის მატულობს მაღალი

განედებიდან დაბლისაკენ და დაბალ-მთიდან მაღალმთისაკენ. ამის ნათელი დადასტურებაა ე.წ. ტროფიკული პირამიდა, სადაც ნაჩვენებია, თუ როგორ იხარჯება მზის ენერგია სხვადასხვა სახის ცოცხალ ორგანიზმზე – რაც უფრო მაღლა ავდივართ ამ პირამიდაში, მით უფრო ნაკლებ ენერგიას მოიხმარს ბტკ ფუნქციონირებისათვის.



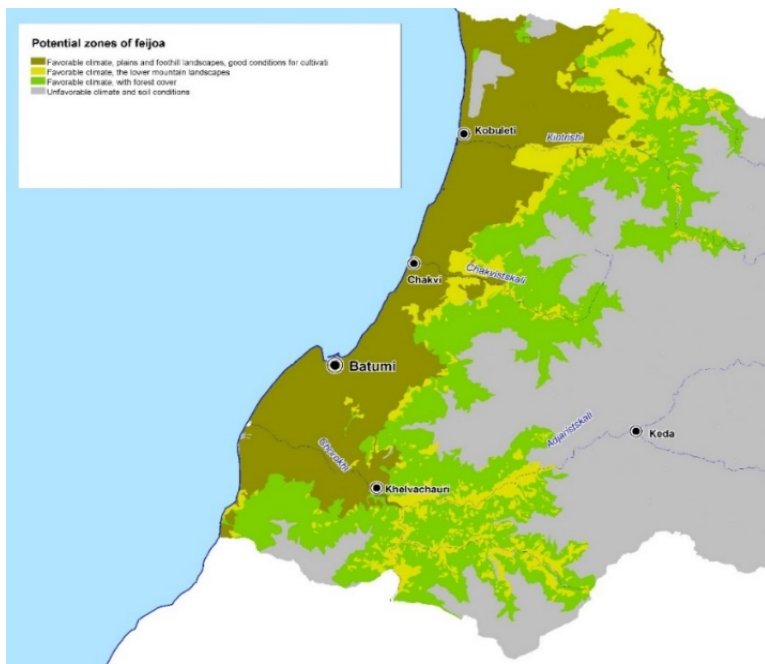
სურ. 1.

ლანდშაფტის ფუნქციონირებისას რადიაციულ ბალანსის დიდი ნაწილი იხარჯება ევაპოტრანსპირაციაზე ანუ, ლანდშაფტის მცენარეული და ნიადაგური კომპონენტების ზედაპირიდან წყლის ჯამურ აორთქლებაზე, სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ის ძირითადად ტენზრუნვასა და ჰაერის გათბობაზე დახარჯული ენერგიაა. ეს ორი პარამეტრი განსხვავებულია ლანდშაფტების მიხედვით, რაც გამოხატულია ზონალობით, კერძოდ, ჰუმიდურ ლანდშაფტებში რადიაციული ბალანსის დიდი ნაწილი იხარჯება ევაპოტრანსპირაციაზე, ხოლო არიდულ ლანდშაფტებში ატმოსფეროში სითბოს ტურბულენტურ ნაკადზე. ენერჯის დიდი რაოდენობის ხარჯვა ტრანსპირაციაზე, აიხსნება ეფექტურობის მიზეზი და ეს იწვევს ლანდშაფტების ბიოლოგიური პროდუქტულობის დაქვეითებასა და მის ლიმიტირებას [დავი-თაია ე., სეფერთელაძე ზ., 2014].

უდავოა, მზის ენერჯის ტრანსფორმაცია მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ბიოტაში, თუმცა ფოტოსინთეზის ბიოქიმიურ რეაქციაზე იხარჯება მხოლოდ 0.5% (ჯამური რადიაციის მთლიანი ნაკადიდან), ხოლო 1.3% – რადიაციული ბალანსის მთლიანი რაოდენობიდან. ფოტოსინთეზისას გამოიყენება ე.წ. ფოტოსინთეზურად აქტიური რადიაცია (ფარ), რაც ჯამური რადიაციის 45%-ს შეადგენს. მცენარეული საფარი შთანთქავს ფარ-ის 90%-ს, თუმცა მისი მნიშვნელოვანი ნაწილი იხარჯება ტრანსპირაციაზე და მხოლოდ 0.8-1% ხმარდება უშუალოდ ფოტოსინთეზს. ფოტოსინთეზის მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მქკ) იცვლება ბუნებრივი ზონების მიხედვით: იგი ყველაზე მაღალია ეკვატორზე, სადაც არის სითბოსა და ტენის ოპტიმალური თანაფარდობა, ხოლო უმცირესია – უდაბნოებსა და პოლარულ მხარეებში. მაღალია ეს კოეფიციენტი შავიზღვისპირეთის ნოტიო სუბტროპიკებშიც – 2%-მდე. ფოტოსინთეზზე დახარჯული ენერჯის დაახლოებით ნახევარი გამოთავისუფლდება პროდუცენტების სუნთქვისას, დანარჩენი ნაწილი კი ინახება სუფთა პირველადი პროდუქციის სახით. ფიტომასაში აკუმულირებული ენერჯის საშუალო რაოდენობა (1კგ მშრალი ნივთიერებიდან) – 18.5 კჯოულის ტოლია და იზრდება დაბალი განედებიდან მაღლისაკენ.

ამგვარად, ლანდშაფტების ფუნქციონირების ინტენსივობა განისაზღვრება რამდენიმე ენერგეტიკული პარამეტრით:

1. კლიმატის ბიოლოგიური ეფექტურობის მაჩვენებელი (Tk), რომელიც განისაზღვრება, 10⁰-ზე მაღალ ტემპერატურათა ჯამისა და 1-ის ტოლ დანესტიანების კოეფიციენტით
2. ტრანსპირაციაზე დახარჯული სითბოს რაოდენობა (E)
3. ფიტომასის პროდუქციის პირველადი სიდიდე (P)
4. მცენარის წლიური მოთხოვნა აზოტსა და ნაცრის ელემენტებზე (MN).



რუკა

ლანდშაფტის ენერგეტიკული მაჩვენებლების მულტიფაქტორული ანალიზის შედეგად განხორციელდა დასავლეთ საქართველოს სუბტროპიკულ-ჰუმიდური ზონის აგროეკოსისტემური რანჟირება და შემუშავებულ იქნა მეცნიერულად დასაბუთებული რეკომენდაციები [4, 5], რის საფუძველზეც ფეიხოსას კულტურის გავრცელების დღემდე მიღებულ [3] ორ აგროკლიმატურ ზონას (30-200 მ; 200-400 მ), დაემატა მესამე ზონა - 400-700 მ დიაპაზონში (რუკა 1), რითაც გაიზრდება ფეიხოსას გავრცელების არეალი და რაც მნიშვნელოვანია, ეს ხელს შეუწყობს ამ კულტურის მაღალმოსავლიანობას.

ასე რომ, ლანდშაფტში ურთიერთზემოქმედების არსი შემოიფარგლება არა მხოლოდ კომპონენტთა, ან მომიჯნავე კომპლექსებს შორის ტიპოლოგიურ დონეზე ნივთიერებისა და ენერჯის წრებრუნვით, არამედ ნივთიერ-ენერჯეტიკული ნაკადების ტრანსფორმაციით, რაც იწვევს სხვადასხვა საპასუხო რეაქციებს გეოსისტემის ყოველ ბლოკში, რის შედეგადაც ეს უკანასკნელი იძენს ახალ თვისებებს.

ლიტერატურა

- [1] დავითაია ე., სეფერთელაძე ზ. ლანდშაფტმცოდნეობა და ლანდშაფტურ-ეკოლოგიური პრობლემები. // თბილისი, 2014, გვ. 128-134.
- [2] Беручашвили Н. Л. Некоторые вопросы структуры функционирования природных комплексов. // В кн. Ландшафтоведение. Тб., 1972, с. 26-32.
- [3] Meladze G., Meladze M. Agroclimatic Resources of Western Regions of Georgia. // Tb., 2012, pp. 114-123.
- [4] Seperteladze Z., Davitaia E., Alpenidze M., Gaprindashvili G., Maisuradze R., Memarne G., Khalvashi N., Kedelidze N., Aleksidze T., Rukhadze N., Khardziani T. Ranking of Feijoa (FEIJOA Sellowiana) in Subtropical Humidified Zone of Adjara and Forest Ecosystem by Multiple-Factor Approach. // Open Journal of Forestry, 11, 2021, pp. 1-13.
- [5] Seperteladze Z., Davitaia E., Kikvadze T. Natural Anthropogenic Mining Complexes and the Problems of their Optimization. // Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, vol. 175, no 3, 2007, pp. 64-66.
- [6] Seperteladze Z., Davitaia E., Aleksidze T., Memarne G., Khalvashi N., Gaprindashvili G. Natural Environment Zoning of West Georgia for Identifying The Perspective Regions of Actinidia Chinensis Planch Culture Spreading. // Global Journal for Research Analysis, Volume 3., Issue 6, June 2015, pp. 82-86.

LANDSCAPE ENERGY – THE MAIN GEOPHYSICAL CHARACTERISTIC OF THE FUNCTIONING OF THE NATURAL ENVIRONMENT AND THE RATIONAL USE OF NATURE

Seperteladze Z., Davitaia E., Aleksidze T., Rukhadze N.

*Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
zurab.seperteladze@tsu.ge*

Abstract. The particularly great practical importance of modern physical geography and, in particular, landscape science, is first of all manifested in the detection and, study of the resource potential of landscapes, as well as in the optimization of the environment. The resource potential, on the other hand, greatly depends on the balance of substance and energy exchange in the natural resources, i. e. the energy of the landscape. In this case, one of the important things is to study the functioning of natural-territorial complexes (NTC). Through it, it is possible and relatively easy to explain, model and, most importantly, predict many complex processes taking place in NTC, including the role of landscape energy balance in increasing the productivity and yield of agro - landscapes, which was the first attempt to research this problem in Georgia.

Keywords. Landscape Energy, Optimization, Solar Radiation, Energy Balance

**მ. ნოდისას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის
მოდელირების საქართველოში ჩატარებული კვლევების შესახებ (2011-2023)**

დემეტრაშვილი დ.

*მიხეილ ნოდისას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
demetr_48@yahoo.com*

ანოტაცია. წარმოდგენილია მიხეილ ნოდისას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის მათემატიკური მოდელირების სექტორში 2011-2023 წწ.-ში ჩატარებული სამეცნიერო კვლევითი სამუშაოების მოკლე მიმოხილვა. სექტორში შემუშავებულია არასტაციონარული მათემატიკური მოდელები, რომლებიც აღწერენ შავ ზღვაში, ატმოსფეროში, ნიადაგსა და ზედაპირულ წყლებში მიმდინარე ჰიდროთერმოდინამიკურ და მინარევების გავრცელების პროცესებს. ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის მოდელებს საფუძვლად უდევს ზღვისა და ატმოსფეროს ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრული სისტემები, ხოლო მინარევების გავრცელების მოდელებს - ადვექცია-დიფუზიის განტოლება არაკონსერვატიული მინარევისათვის. ნიადაგში თხევადი ნივთიერების ინფილტრაციის განტოლება საფუძვლად უდევს ნიადაგში გახსნილი ნივთიერების გავრცელების მოდელს. მოყვანილია აღნიშნული მოდელების კომპიუტერული რეალიზაციის ზოგიერთი შედეგი.

საკვანძო სიტყვები: განტოლებათა სისტემა, რიცხვითი მოდელი, დინების ველი, მინარევების გავრცელება.

2011-2023 წწ.-ში მ. ნოდისას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს მოდელირების სექტორში მიმდინარეობდა სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები შემდეგი ძირითადი მიმართულებებით:

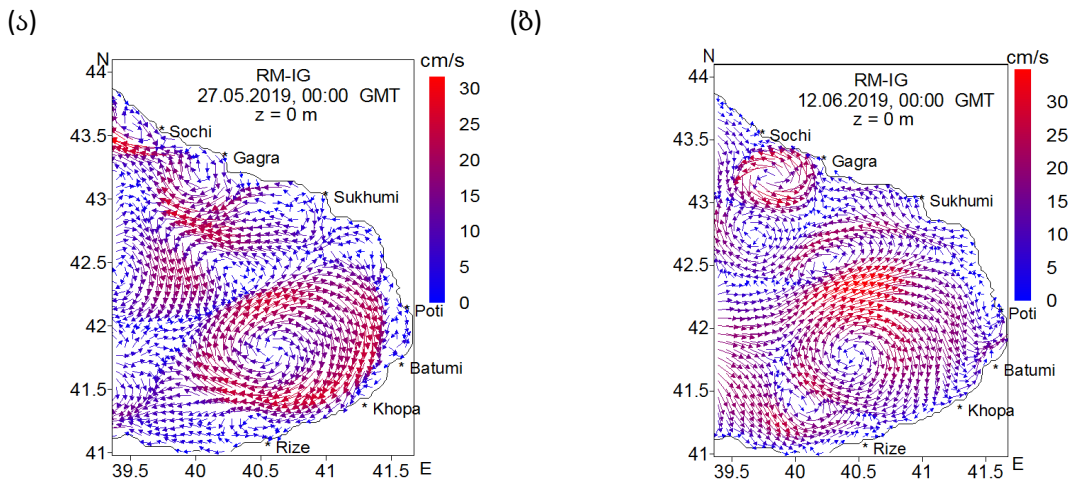
- შავ ზღვაში მიმდინარე ჰიდროდინამიკური პროცესების მათემატიკური მოდელირება;
- შავი ზღვის რეგიონული პროგნოზის სისტემის განვითარება და სრულყოფა;
- კავკასიის რეგიონის ატმოსფეროში მიმდინარე ჰიდროთერმოდინამიკური პროცესების შესწავლა მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე;
- შავ ზღვაში, ატმოსფეროში, ნიადაგსა და ზედაპირულ წყლებში სხვადასხვა მინარევების გავრცელების კანონზომიერებათა შესწავლა მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე.

სექტორში შემუშავებულია შავი ზღვის დინამიკის მოდელის ორი ვერსია: ზღვის აუზის მასშტაბის მოდელი 5 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით [1] და მაღალი გარჩევისუნარიანი რეგიონული მოდელი 1 კმ გარჩევისუნარიანობით [2]. ორივე მოდელს საფუძვლად უდევს ოკეანის ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრული სისტემა, რომლის ამოხსნა ხორციელდება დიფერენციალურ განტოლებათა სასრულ-სხვაობითი მეთოდების გამოყენებით, კერძოდ, გახლეჩის ორციკლიანი მეთოდით [3].

აუზის მასშტაბის შავი ზღვის დინამიკის მოდელისა და კლიმატური მონაცემების გამოყენებით სექტორში შესრულებულია გამოკვლევათა ფართო ციკლი შავი ზღვის ჰიდროლოგიური ველების (ტემპერატურა, მარილიანობა, სიმკვრივე) ვერტიკალური სტრუქტურის შესწავლის მიზნით ზღვის ზედა ტურბულენტური შერევის ფენაში [4]. ესაა ფენა, სადაც ინტენსიური ტურბულენტური შერევის გავლენით ძირითადი ჰიდროლოგიური პარამეტრები განაწილებულია ერთგვაროვნად ვეტიკალზე. ამ ფენის სისქე განიცდის სეზონურ ცვლილებებს ფართო დიაპაზონში და მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ზღვა-ატმოსფეროს ურთიერთქმედებაში. ამ თვალსაზრისით ზედა შერეული ფენის ჰიდროლოგიური სტრუქტურისა და მისი ცვალებადობის შესწავლა მნიშვნელოვან მეცნიერულ ღირებულებას წარმოადგენს. ჩატარებული გამოკვლევების შედეგად დადგენილია შერეული ფენის ზოგიერთი ჰიდროლოგიური

თავისებურება წლის სხვადასხვა სეზონებისათვის. კერძოდ, დაფიქსირდა თერმოჰალინური ზემოქმედების ძირითადი როლი შავი ზღვის ვერტიკალური ცირკულაციის ფორმირებაში 100 მ სისქის ზედა ფენაში გარდამავალი სეზონის - გაზაფხულის კლიმატური პირობების შესაბამისად, დაზუსტებულია შავი ზღვის ზედა შერეული ტურბულენტური ფენის სისქე და ფიზიკური თავისებურებები, ზამთრის ცივ სეზონში (თებერვლის შუა რიცხვებში) და ა. შ.

ევროკავშირის საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ პროექტებში ARENA(2003-2006) და ECOOP (2007-2010) სექტორის მონაწილეობის შედეგად, მაღალი გარჩევისუნარიანი შავი ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელი საფუძვლად დაედო მოკლევადიან საზღვაო რეგიონული პროგნოზის სისტემას შავი ზღვის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილისათვის, რომელიც მოიცავს შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიას [1]. რეგიონული პროგნოზის სისტემის საფუძველზე შესაძლებელი გახდა ძირითადი 3-D ჰიდროფიზიკური ველების - დინების, ტემპერატურის, მარილიანობის 3 დღიანი პროგნოზი 1 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით, ხოლო საგანგებო სიტუაციების შემთხვევაში - ნავთობისა და სხვა მინარევების გავრცელების პროგნოზიც.

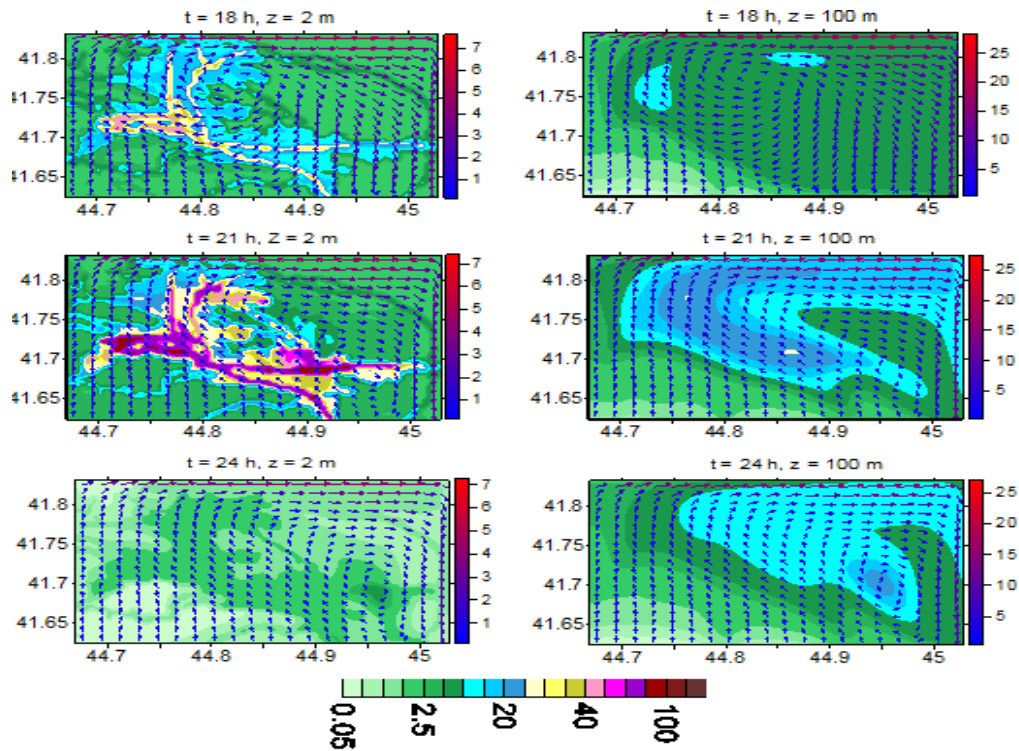


ნახ. 1. ზღვის ზედაპირული დინების პროგნოზული ველები 00:00 GMT, 2019 წელს: 27 მაისს (ა) და 12 ივნისს (ბ).

ილუსტრაციის მიზნით, ნახ.1-ზე მოყვანილია ზღვის ზედაპირული დინების პროგნოზული ველები 2019 წლის 27 მაისს და 12 ივნისს, 72 სთ შემდეგ პროგნოზის საწყისი მომენტიდან. ნახაზიდან ნათლად ჩანს, რომ ამ დღეების ცირკულაციის მთავარი ელემენტია ბათუმის ანტიციკლონური გრივალი, რომლის სივრცითი მასშტაბი დაახლოებით 100-120 კმ-ია.

სექტორში ინტენსიურად მიმდინარეობს კვლევები კავკასიის ტერიტორიაზე ატმოსფეროს დინამიკისა და მავნე მინარევების გავრცელების შესწავლის მიზნით. ამ მიზნით, შემუშავებულია ატმოსფეროს დინამიკის არასტაციონარული სივრცითი მოდელი [5], რომელსაც საფუძვლად უდევს ატმოსფეროს ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრული სისტემა ჰიდროსტატიკურ მიახლოებაში. მოდელი ითვალისწინებს ძირითად ფიზიკურ ფაქტორებს, მათ შორის კონდენსაციურ და ღრუბელთა წარმოქმნის პროცესებს. ატმოსფეროში მინარევების გავრცელების მიზნით, განტოლებათა სისტემაში ჩართულია მინარევების გადატანა-დიფუზიის განტოლება. შემუშავებული მოდელირების სისტემის საფუძველზე ჩატარებულია გამოკვლევების ფართო სერია, რის შედეგადაც მიღებულია შედეგები, რომლებსაც მნიშვნელოვანი სამეცნიერო და პრაქტიკული ღირებულება გააჩნიათ.

რიცხვითი მოდელირებით და ჩატარებული ექსპერიმენტული გაზომვის მონაცემების გამოყენებით გამოკვლეულია ქ. თბილისის ტერიტორიაზე ავტოტრანსპორტის მიერ წარმოშობილი მტვრის ცვლილების კინემატიკა სხვადასხვა მეტეოროლოგიური სიტუაციების დროს. შესწავლილია მტვრის სივრცული განაწილების დღე-ღამური სურათი [6, 7].



ნახ. 2. მტვრის კონცენტრაციის (მგ/მ³) და ქარის სიჩქარის (მ/წმ) ველები სამხრეთის სუსტი ფონური ქარის დროს მიწის ზედაპირიდან 2 და 100 მ სიმაღლეზე, როცა t = 18, 21 და 24 სთ.

ილუსტრაციის მიზნით, ნახ. 2 -ზე ნაჩვენებია რიცხვითი გამოთვლებით მიღებული ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის ველების სივრცით-დროითი განაწილება მიწის ზედაპირიდან 2 მ და 100 მ სიმაღლეებზე t = 18, 21 და 24 სთ-ზე სამხრეთის სუსტი ფონური ქარის დროს.

სექტორში გამოკვლევათა მნიშვნელოვანი ნაწილი მიძღვნილია ნიადაგსა და ზედაპირულ წყლებში მიმდინარე პროცესების შესწავლისადმი [8, 9]. ნიადაგში თხევადი ნივთიერების ინფილტრაციის განტოლების გამოყენებით დამუშავებულია სხვადასხვა ტიპის ნიადაგში გახსნილი ნივთიერების გავრცელების მათემატიკური მოდელი. კახეთის დამლაშებული ბიციობიანი ნიადაგისათვის მოდელირებული და შესწავლილია მარილიანობის ცვლილება მასში შეტანილი სორბენტის საშუალებით. გადატანა-დიფუზიის განტოლების გამოყენებით დამუშავებულია საქართველოს მდინარეებში დამაბინძურებელი ნივთიერებების გავრცელების 3D მათემატიკური მოდელი, რის საფუძველზეც ჩატარებულია გამოკვლევები მდ. მტკვარში, ცხენისწყალში, ხრამში და სხვა მდინარეებში ზოგიერთ მინარევთა გავრცელების შესწავლის მიზნით.

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

ლიტერატურა

- [1] 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 RAS, Atmospheric and Oceanic Physics, t. 44, № 2, 2008, pp. 213-224. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1134/S0001433808020096.pdf>.
- [2] Kordzadze A.A., Demetrashvili D.I. Operational forecast of hydrophysical fields in the Georgian Black Sea coastal zone within the ECOOP. // Ocean Science, 7(6), 2011, pp. 793-803. <https://doi.org/10.5194/os-7-793-2011>.
- [3] Marchuk G.I. Numerical solution of problems of atmospheric and oceanic dynamics. // Gidrometeoizdat, Leningrad, 1974, 303 p. (in Russian).
- [4] 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.

- [5] Kordzadze A.A., Surmava A A., Demetrashvili D.I., Kukhalashvili V.G. Numerical modeling of the mesoscale hydrodynamic fields in the atmosphere over the south-east part of the Black Sea. // Proceedings of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, t.64, 2013, pp. 131-139, (in Russian).
- [6] სურმავა ა., ინწკირველი ლ., გიგაური ნ., კუხალაშვილი ვ. PM2.5 და PM10 მიკროაეროზოლები ქ. თბილისის ატმოსფეროში. // სტუ ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის გამომცემლობა. თბილისი, 2021, 92 გვ.
- [7] Kukhalashvili v., Surmava A., Gigauri N., Intskirveli L., Demetrashvili D. Numerical and experimental investigation of particulate matters 2.5 and 10 distribution in Tbilisi city atmosphere. // Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, t. 16, №3, 2022, pp. 60-67.
- [8] Surmava A. Numerical Simulation of Soil Salinity Reduction Caused by Means of Irrigation and Introduction of Sorbent. // Georgian Academy Press; Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, No. 1, v.7, 2013.
- [9] ზაგრატიონი ნ., გვერდწითელი ლ., სურმავა ა., გვახარია ვ. მდ. ცხენისწყლის ფსკერულ დანალექებში დარიშხანის განაწილების რიცხვითი მოდელირება. // პროფესორ ვიქტორ ერისთავის 80 წლისთავისად მი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“ , თბილისი, საქართველო. 2019, 11-12 ნოემბერი, შრომები, 2020.

ON RESEARCH CARRIED OUT IN THE SECTOR OF MODELING THE SEA AND ATMOSPHERIC DYNAMICS OF THE M. NODIA INSTITUTE OF GEOPHYSICS

Demetrashvili D.

*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
demetr_48@yahoo.com*

***Abstract.** A brief overview of the scientific research works conducted in 2011-2023 in the sector of Modeling the Sea and Atmospheric Dynamics of the Institute of Geophysics is presented. The sector has developed non-stationary mathematical models that describe the hydrothermodynamic and impurity diffusion processes in the Black Sea, atmosphere, soil and surface waters. The models of the dynamics of the sea and the atmosphere are based on the complete systems of equations of the hydrothermodynamics of the sea and the atmosphere, and the models of the distribution of impurities are based on the advection-diffusion equation for non-conservative impurities. The equation for infiltration of liquid matter into soil is used to model the distribution of dissolved matter in soil. Some results of the computer realization of the mentioned models are presented.*

***Key words:** System of equations, numerical model, flow field, distribution of impurities.*

განაშემოდინების კვლევა შავი ზღვის შელფზე ბათუმის აკვატორიაში

მესტვირიშვილი შ., ჭალიაშვილი გ., კოდუა მ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო
Mestvirishvilishota01@gtu.ge

ანოტაცია. 1993–94 წლებში ჩატარდა უკრაინელ კოლეგებთან ერთად საქართველოს ტერიტორიული წყლების გეოქიმიური კვლევა ქალაქ ფოთიდან თურქეთის საზღვრამდე. უკრაინის მეცნიერებათა აკადემიის სამხრეთი ზღვების კვლევის ინსტიტუტის საკვლევი გემით, რომელიც აღჭურვილი იყო (მაშინდელი) უახლესი ტექნიკით, გემზე არსებული ჰიდროაკუსტიკური გაზაგებვის მეთოდი მეტად მოსახერხებელია წყალქვეშა გაზუმცველი მინდვრების მოძიებისა და გამოკვლევისათვის, ამასთან, გაზაგებვისათვის საჭირო დრო ბევრად მცირეა, რამაც საშუალება მოგვცა სხვა დამატებითი ინფორმაციაც მოგვეპოვებინა, რაც აუცილებელია შავი ზღვის შელფის მრავალმხრივი შესწავლისათვის. ექსპედიციების დროს შედგენილი იქნა გაზაგებვითი რუკა, რამაც მოგვცა შესაძლებლობა დაგვეჩვენა ზღვის ფსკერის მდგომარეობა. ჩატარებული იყო სეისმოაკუსტიკური ზონდირება და შედარება ბუმტების ამოსვლის ადგილებსა და არ არსებულს შორის. განსხვავება აღმოჩნდა საგრძნობი. გამოკვლევამ აჩვენა, რომ სადაც ზღვებში და ოკეანეებში გაზუმოდინება განსაკუთრებულ შესწავლას მოითხოვს.

საკვანძო სიტყვები: აირუმოდინება, რღვევის ხაზი, ზღვის შელფი, სეისმოაქტივობა.

შესავალი

2021 წლის სექტემბრიდან საქართველოს სახელმწიფო ქონების ეროვნულ სააგენტოსთან გაფორმებული საინვესტიციო ხელშეკრულების საფუძველზე შპს „ამბასადორი ბათუმი აილენდ“-მა დაიწყო ქალაქ ბათუმში ხელოვნური კუნძულის აგება. საინჟინრო-სამშენებლო თვალსაზრისით იგეგმება 50-60 ჰექტარი მიწის ხელოვნური ფართობის შექმნა, კუნძულების და ნახევარკუნძულების სახით.

ამ ფაქტმა, ჩვენ გვიბიძგა ყურადღება გაგვემახვილებინა შავი ზღვის ისეთ ფაქტორზე, როგორცაა აჭარის სანაპიროს რთული ტექტონიკური აგებულება და ამასთან ერთად, გამოკვლეული და დადასტურებული, ბუნებრივი აირის (მეთანის CH₄), თავისუფალი გადაადგილება ზღვის ფსკერიდან წყლის ზედაპირამდე. ჩვენი კვლევის არეალიდან გამომდინარე, განსაკუთრებულ ყურადღებას გავამახვილებთ, აჭარის სანაპიროს იმ კოორდინატა საზღვრებში სადაც დაგვეჩვენა ზემოთ ნახსენები გასართობი ტერიტორიის მოწყობა. არის ინფორმაცია, რომ ჩატარდა არეალის ბათიმეტრიული კვლევა, მაგრამ ტექტონიკაზე არაფერია ნათქვამი.

შავ ზღვაში, რომელიც ევროპის ცენტრშია და ყველაზე შორს მდებარეობს ოკეანეებისაგან, საგრძნობლად დაცულია მათი გავლენისაგან და ყველაზე შესწავლილ ზღვად ითვლება, მასშიც კი გვხვდება უამრავი უცნობი მოვლენა, მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ შემდეგი: შავი ზღვის ფლოტის ჰიდროგრაფიული სამმართველოს 1927 წლის მონაცემებში ნახსენებია ყირიმის სანაპიროზე მიწისძვრის დროს მომხდარი გაზის ამოფრქვევა, რომელსაც მოჰყვა აალება (მისი სიგრძე 1 მილი იყო და ალის სიმაღლე 500 მეტრი). მიწისძვრა 11-ჯერ გამეორდა და გაზის ამოფრქვევა ყველა შემთხვევაში თითქმის ერთნაირი სიმძლავრის იყო და მსგავს ხასიათს ატარებდა (დიდი რაოდენობით გაზის ამოფრქვევას თითქმის ყველგან მოსდევს აალება, რასაც იწვევს მასში არსებული ფოსფიდის მოლეკულები). აღნიშნულ მოვლენას 1989 წლამდე

მიაწერდნენ შავი ზღვის ქვედა ფენებში გახნილი გოგირდწყალბადის გამოყოფას, მხოლოდ 1989 წლის უკრაინელი მეცნიერების გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ გოგირდწყალბადის კი არა, ბუნებრივი გაზის ამოფრქვევას ჰქონდა ადგილი, რადგან იმ რეგიონში აღმოჩნდა დიდი რაოდენობით გაზშემოდინებას წერტილები, რომელიც დაკავშირებულია რღვევის ხაზებთან და მის ადგილას მიწისძვრის შედეგად წარმოიშვა ნაპრალი, რამაც გამოიწვია ბუნებრივი გაზის ერთდროულად დიდი რაოდენობის ამოფრქვევა. მეცნიერები ნავთობისა და გაზის საბადოების არსებობას უკავშირებენ როგორც კონტინენტურ, ასევე ადგილობრივი რღვევის ხაზებს, რადგან საბადოების 75% რღვევის ხაზებთან არის განლაგებული.

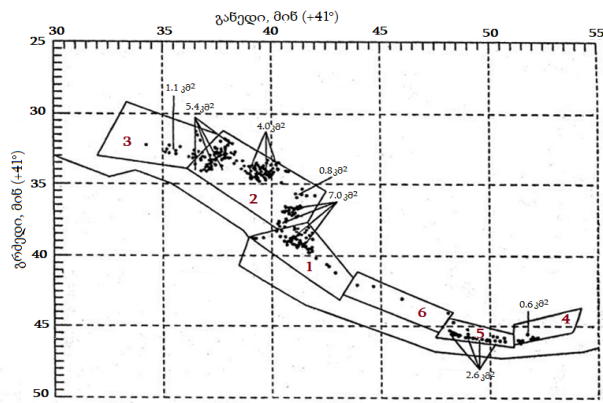
შავი ზღვის საქართველოს ტერიტორიალურ წყლებში ფართომასშტაბიანი გეოქიმიური კვლევები არ იყო ჩატარებული, 1993–94 წლებში ჩატარდა უკრაინელ კოლეგებთან ერთად საქართველოს ტერიტორიული წყლების გეოქიმიური კვლევა ქალაქ ფოთიდან თურქეთის საზღვრამდე (სურ.1). უკრაინის მეცნიერებთა აკადემიის სამხრეთი ზღვების კვლევის ინსტიტუტის საკვლევი გემით, რომელიც აღჭურვილი იყო მაშინდელი უახლესი ტექნიკით, მათ შორის: მაღალი მგრძობიარობის მქონე აკუსტიკური კომპლექსით “Simrad-500, წრიული ხედვის მქონე ჰიდროლოკატორით “Furmo CH-16”, წყალქვეშა რობოტი „MiniRoveri-11”, სამეცნიერო ცენტრითა და სპეციალბორატორიებით. imrad EK-500 კომპიუტერი დაკავშირებული იყო IBM PC-2/65 პერსონალურ კომპიუტერთან და თანამგზავრულ სანავიგაციო სისტემასთან GPS-NavIGATOR. შედეგების წინასწარი დამუშავება მიმდინარეობდა ექსპედიციის მსვლელობისას, ხოლო საბოლოო დამუშავება გემიდან ნაპირზე გადმოსვლის შემდეგ. ექსპედიციის ძირითად მიზანი იყო დაგვედგინა საკვლევ ტერიტორიაზე ზღვის ფსკერის მდგომარეობა და იქედან გაზის შემოდინება, რაც წინაპირობაა მოცემულ ადგილზე გაზისა და ნავთობის საბადოსი და გეოლოგიური რღვევის ხაზების არსებობისა.

ჰიდროაკუსტიკური გაზაგეგმვის მეთოდი მეტად მოსახერხებელია წყალქვეშა გაზშემცველი მინდვრების მოძიებისა და გამოკვლევისათვის, ამასთან, გაზაგეგმვისათვის საჭირო დრო ბევრად მცირეა, რამაც საშუალება მოგვცა სხვა დამატებითი ინფორმაციაც მოგვეპოვებინა, რაც აუცილებელია შავი ზღვის შელფის მრავალმხრივი შესწავლისათვის.

ექსპედიციების დროს შედგენილი იქნა გაზაგეგმვითი რუკა. პირველი ექსპედიციის დროს 1993 წელს მდინარე სუფსის შესართავთან გამოკვლეული იქნა 50 კმ², სადაც გაზშემცველი ფართობი 10კმ²-ია. მეორე ექსპედიციის დროს აჭარის სანაპიროს 200 კმ² გამოკვლევისას გაზშემცველი აღმოჩნდა 20კმ².

ძირითადი ნაწილი

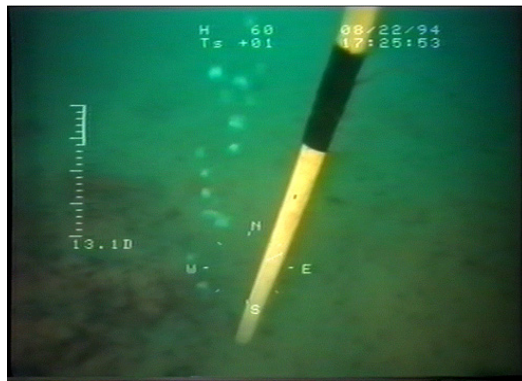
საქართველოს შავი ზღვის შელფის გამოკვლევისას დაფიქსირდა უამრავი გაზშემოდინების წერტილი, რომლებიც ყირიმთან აღმოჩენილი გაზშემოდინების ანლოგიურია. გამოკვლევამ აჩვენა, რომ გაზის გამოვლენის ადგილების განლაგება წრიული და ხაზური ხასიათისა არის, რომელიც ადგილობრივი რღვევის ხაზებს უკავშირდება. სურ.1-ზე მოცემულია საქართველოს შავი ზღვის შელფის აჭარის სანაპირო ზოლში გაზგამოვლინების წერტილების რუკა თურქეთ-საქართველოს საზღვრიდან ქობულეთის ჩათვლით. განსაკუთრებით ყურადღების ღირსია მდინარეების: ჭოროხისა და ქოროლის ტრავერსებს შორის მოქცეული ბათუმის აკვატორია. ამ აკვატორიაში მდებარეობს ორი შიგაზონალური რღვევის ხაზი ნახევარწრის შიგნით, 15-20 მეტრის სიღრმეზე არის ბათუმის გაზგაუმტარი ბლოკი, რომლის ნაპირების მკვეთრი ვარდნის ამპლიტუდა 200-300 მ-ია. ამ ბლოკის გარშემო ბლოკსა და სიღრმეთა ვარდნას შორის დადებით გადაღუნვაზე დაფიქსირდა მძლავრი აირშემოდინების მინდვრები. აღნიშნული ბლოკი ჰალოფექტს წარმოადგენს. ასეთივე სახე აქვს მდინარე სუფსასთან აღმოჩენილ გაზგამოვლინებას.



სურ.1. აჭარის სანაპირო ზღვაში გაზგამოვლინების წერტილები.

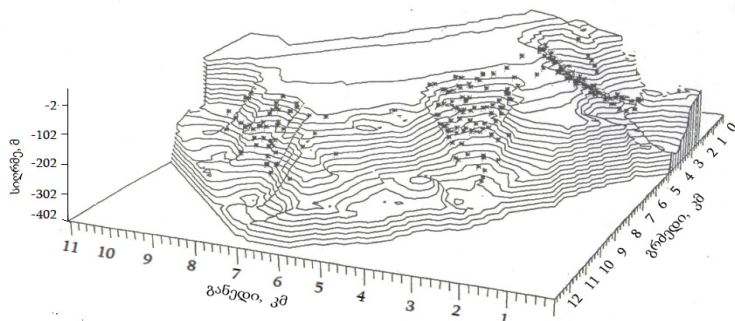
აღნიშნული ექსპედიცია და მის მიერ მოპოვებული შედეგები ფართოდ შუქდებოდა ქართულ და უცხოურ პრესაში, ასევე სამეცნიერო ჟურნალებში [1, 2,3,].

სურ. 2-ზე ჩანს ზღვის ფსკერიდან გაზის ბუშტების ამოსვლის ადგილას სიღრმე, ბუშტების დიამეტრის განმსაზღვრელი სოლი, რომლის დიამეტრი იცვლებოდა 1-2 სმ-მდე, ასევე მოცემულია სიღრმე და გადაღების დრო.



სურ. 2. ბუშტების ამოსვლა ზღვის ფსკერიდან.

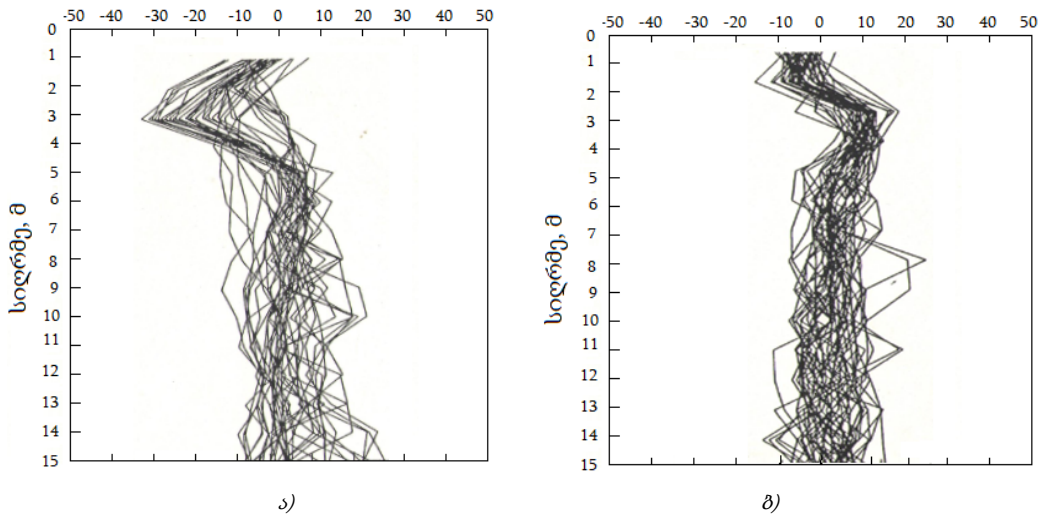
სურ.3-ზე წარმოდგენილია საქართველოს შავიზღვისპირა სანაპიროს №2 პოლიგონის (ბათუმის, აჭარის) სივრცითი რუკა, რომელზეც დატანილია გაზშემოდინების წყაროები. რუკაზე შეიმჩნევა გაზის ამოსვლის (სიკების) წერტილების ლოკალიზაცია იზობატების შეჯგუფების ადგილებში, ანუ ზღვის ფსკერის არაერთგვაროვანი რელიეფის ადგილებში.



სურ. 3. საქართველოს შავიზღვისპირა სანაპიროს # 2 პოლიგონის სივრცითი რუკა.

ამ ფაქტის ერთ-ერთი ახსნა შესაძლოა იყოს საქართველოს სანაპირო ზოლთან ზღვის ფსკერის გეოლოგიური სტრუქტურის შესაბამისი ინტერპრეტაცია, რომლის თანახმადაც გაზშემოდინება დაკავშირებულია ტექტონიკურ რღვევასთან. მაგრამ ფსკერის სეისმოაკუსტიკური პროფილირება არ იძლევა

საშუალებას დავახასიათოთ მიკრომასშტაბური დონის ლოკალური პროცესები, როგორც არის ზღვის ფსკერიდან გაზის ჭავლების ამოსვლის კონკრეტული ადგილები.



სურ. 4. ფსკერის აკუსტიკის პროფილი ა) გაზგაუმტარ ფილაზე (42.01'N, 42.43'E) ; ბ) გაზის შემოდინების ადგილში (41.52'N, -დან 41.55'N, 41.45'E-მდე)

ამ მიზნისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნეს ფსკერული ნალექების ზედა ფენების ზონდირების ტექნოლოგია, რომელიც გვაწვდის ინფორმაციას ფსკერის თხელ სტრუქტურაზე. ვფიქრობთ, გონივრულია მოსაზრება, რომ სიღრმეებიდან ამოსული გაზი ხელს უწყობს ფსკერის აკუსტიკური პროფილის შეცვლას მახლობლად მდებარე მონაკვეთებთან შედარებით (სურ. 4.). ამისათვის შერჩეული იქნა 120,438 კპც ბგერის ტონალური სიგნალები, სიხშირის უკუსივრცული გაბნევის ძალთა სხვაობა 1 მეტრი სისქის ფსკერულ დანალექში. ფსკერის დადარულ რელიეფურ ზონებში, როგორცაა აჭარის სანაპირო, სწორედ ბგერის უკუსივრცული გაბნევის ძალთა სხვაობა ნაკლებად ემორჩილება ფლუქტუაციებს, ვიდრე ტონალური სიგნალები, რომელთა ამპლიტუდაც ძლიერ დამოკიდებულია ფსკერის ზედაპირზე ბგერის სხივის დაცემის კუთხეზე. მიღებული მონაცემების ანალიზმა შესაძლებლობა მოგვცა დავასკვნათ, რომ ფსკერის აკუსტიკური პროფილების განაწილება არაერთგვაროვანია, რაც განპირობებულია ფსკერზე დანალექთა შემადგენლობით. უფრო კონტრასტული სურათი გამოვლინდა სიპების ლოკალიზაციის რაიონში და შელფურ პლატოზე, სადაც დეტალური გამოკვლევის მიუხედავად, არც ერთი გაზშემოდინების სიპი არ დაფიქსირდა.

ამავდროულად, ქრომატოგრაფიული კვლევის შედეგებიც იძლევა წყლისა და გრუნტის შემადგენლობის მკვეთრ განსხვავებას იმ ადგილებში, სადაც ლოკალიზებულია სიპები და სადაც ისინი არ არის.

დასკვნა

მსოფლიოს სხვადასხვა რეგიონებში ფართო გავრცელება ჰპოვა ზღვებსა და ოკეანეებში სხვადასხვა დანიშნულების ნაგებობების აშენებამ. ჩვენმა ცდებმა დაადასტურა, რომ ისეთ ადგილებს, სადაც გაზშემოდინებას აქვს ადგილი, განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს, რადგან, როგორც ავღნიშნეთ, გაზშემოდინება უპირატესად დაკავშირებულია რღვევის ხაზებთან და ტექტონიკური აქტივობის დროს რღვევის ხაზების შემხები ბლოკები შეიძლება გადაადგილდეს, რაც ნაგებობის მდგრადობაზე იმოქმედებს. ასევე საშიშროებას წარმოადგენს ზღვის ფსკერიდან გამომდინარე გაზი (სურ.3). რომელიც ზემოთ მოძრაობისას შემხვედრ წინაღობას გარს შემოუვლის და ისე მოხვედება ჰაერში. მსგავსი პროცესი გემებთან დაკავშირებით განხილულია [3]-ში. ნაგებობების შემთხვევაში სიტუაცია გაცილებით უფრო რთულია, რადგან გემები და მცურავი საშუალებები ხშირად იცვლიან ადგილს და ამავე დროს გარსდენადი ფორმისაა, ამიტომ მათი ფსკერის ქვეშ გაზის დიდი რაოდენობით დაგროვებას ადგილი არ ექნება. თუ ეს წინაღობა იქნება შენობა ან მსგავსი ნაგებობა, შესაძლებელია მის ქვეშ სივრცეში მოხდეს გაზის დაგროვება და აფეთქებადსაშიში ნარევის წარმოქმნა. ასევე შეიძლება ნაგებობის შიგა

სივრცეში გაზი მოხედეს, რაც წარმოქმნის აფეთქებადსაშიშ გაზ-ჰაერის ნარევს. ყველაზე დიდ საშიშროებას წარმოადგენს გაზშემოდინების ადგილებში დიდი რაოდენობით გაზის ამოფრქვევა, ისეთი, როგორც 1927 წელს ყირიმში მოხდა. გაზის დიდი რაოდენობით ამოფრქვევა ხშირად ხდება სეისმური გააქტიურების დროს კასპიის ზღვაში აზერბაიჯანში, სეისმური გააქტიურება კი ყველგან შეიძლება მოხდეს, განსაკუთრებით სამხრეთ კავკასიაში. აღნიშნული მოვლენა ძალიან საშიშია, რადგან ჰაერში მოხვედრილი მილიონობით მ³ გაზი ხშირად იწყებს წვას. ავტორების აზრით, აღნიშნული საფრთხე მნიშვნელოვანია და გასათვალისწინებელია ზღვებში და ოკეანეებში მშენებლობის ადგილის შერჩევასა, რადგან ზემოთ მოყვანილმა საფრთხეების გაუთვალისწინებლობამ შეიძლება კატასტროფა გამოიწვიოს.

ლიტერატურა

- [1] მესტვირიშვილი მ., ტყეშელაშვილი გ. საქართველოს შავი ზღვის შეღვის გეოქიმიური გამოკვლევა. // საქართველოს ნავთობი და გაზი, N 13, 2005.
- [2] მესტვირიშვილი შ., ტყეშელაშვილი გ., ფარცხალაძე გ. აირების წყალქვეშა შემოდინების რაიონებში ნაოსნობისა და წყალზედა ნაგებობების უსაფრთხოების შესახებ. // ზღვა და ადამიანი.
- [3] Высоцкий И.В., Высоцкий В. И. Формирование нефтяных, газовых и конденсатно - газовых месторождений. // М., Недра, 1986 г.
- [4] Ткешелашвили Г.И., Егоров В.Н., Мествиришвили Ш. А. и др. Метановые газовыделения со дна Черного моря в приустьевой зоне реки Супса у побережья Грузии. // Геохимия, №3, 1997 г.

RESEARCH OF GAS INFLOW ON THE BLACK SEA SHELF NEAR BATUMI AREA

Mestvirishvili Sh., Kodua M., Chaghiashvili G.

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia
Mestvirishvilishota01@gtu.ge

Abstract. Construction in the seas and oceans In 1993-94 together with Ukrainian colleagues, a geochemical survey of the territorial waters of Georgia was carried out, from the city of Poti up to the Turkish border. The surveys were carried out on a research vessel of the Institute for the Study of the Southern Seas of the Academy of Sciences of Ukraine.

The hydro-acoustic method, to be very convenient for detecting and studying offshore sources of gas releases. At the same time, the research time was much lower, which allows to obtain additional information necessary for a detailed study of the Black Sea shelf. During the survey, a map of gas emissions was drawn up. Seism-acoustic sounding and comparison analysis were conducted between real and fake Hydrocarbon gas ingress point from the sea shelf. There was a difference between them. The studies have shown, that it is necessary to conduct detailed study of the sources of gas releases in the seas and oceans.

Key words: gas inflow, fault line, sea shelf, seismic activity.

FORMATION IN MARINE CONDITIONS OF THE OPHIOLITE OLISTOSTROME OF THE BAZUM SECTOR OF THE PLANETARY ANATOLIAN-SOUTH CAUCASUS OPHIOLITE BELT IN NORTHERN ARMENIA

Aghamalyan V. A.

*Institute of Geological Sciences NAS RA, Armenia
vagamali@yahoo.com*

Abstract. The ophiolites of the Bazum horst are represented only by an olistostrome mixt, the matrix of which is composed of a flyschoid sequence of rhythmic alternation of black mudstones, siltstones and Urasar sandstones. The ratio of olistoliths to the matrix indicates a synsedimentary mode of formation. In contrast to the Sevan-Akera part of the belt, the ophiolites of the Bazum horst do not have serpentinite melange. These features indicate the formation of the olistostrome in marine conditions, during obduction within the sea basin adjacent to the collision suture. The Dzoraget metamorphic complex of garnet-quartz-bimica crystalline schists and garnet amphibolites is the result of heating at the base of an obducted peridotite sheet.

Keywords: geology, ophiolites, olistostrome matrix.

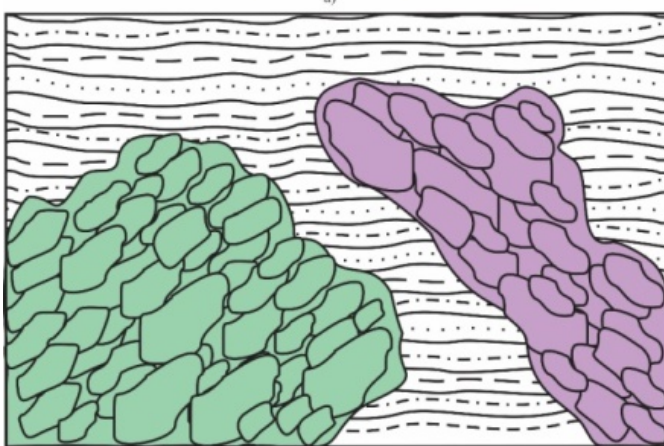
The purpose of the work is to identify the structural features of two ophiolite bands that were identified during field mapping by the author and previous researchers and their substantiation by analytical methods. The objectives boil down to substantiating the nature of the ophiolite olistostrome matrix and elucidating the reason for the accumulation of olistoliths exclusively within the black mudstone sequence of the Urasar Formation.

Ophiolites of the Bazum horst were studied by I.V. Barkanov [6], V.T. Akopyan [4,5], S.A. Palanjyan [9], Agamalyan [1,2,3]. On his map, I.V. Barkanov fantastically attributed two extended synclinal folds of the flyschoid strata of the current Urasar formation with inclusions of near-latitudinal ophiolite olistoliths up to 20 km long to dykes of ultrabasic composition. The contours of these dikes correspond exactly to the contours of two synclines of the Urasar Formation, shown on our map (Fig. 2). The mixing of dark gray and black mudstones of the Urasar formation of the lower Senonian with ophiolite olistoliths of the same black color enclosed in them continues to this day - for 90 years. A.L. Kniper and S.D. Sokolov [8] highlight in the Sevan-Akera zone the presence of a strata of rhythmic alternation of dark gray, black mudstones, siltstones and sandstones, completely identical to the sediments of the Urasar formation, called the flyschoid sequence, which they noted in many points of ophiolites of the Sevan-Akeri zone. They determined the age of the flyschoid cement strata as Lower Coniacian, similar to the Urasar formation identified by V. T. Akopyan [4]. These authors considered the flyschoid sequence of black mudstones as the "autochthonous base of ophiolites." I identify the flyschoid sequence identified by A.L. Kniper and S.D. Sokolov with the Urasar formation of the Bazum horst. My opinion about the flyschoid strata essentially coincides with the opinion of A.L. Kniper and S.D. Sokolov, considering that this is an autochthonous foundation where fragments of the oceanic crust fell during obduction. We have a significant addition to the opinion of A.L. Kniper and S.D. Sokolov that this base, represented by the flyschoid strata, was in the state of unlithified liquid bottom silt at the moment solid fragments of the oceanic crust entered them. About the liquid, unlithified state flyschoid strata, when fragments of the oceanic crust fall into it, are also evidenced by the words of A.L. Kniper [7] that "With a more careful study ... in the cement of the olistostrome formation it is always possible to observe sorted layering and traces of sedimentation flow of sediments", this is actually consistent with my opinion about the unconsolidated state of the matrix in the form of bottom silt of the sea basin.

At the base of the autochthon of the Bazum horst lies the Katnakhbyur suite of yellowish recrystallized limestones with a poorly preserved belemnite fauna, indicating an Upper Jurassic age. Stratigraphically higher lies the Spitak Formation of Aptian age [5], represented by platy grayish limestones, composing an anticlinal uplift of latitudinal strike, separating two latitudinal synclines of the Urasar Formation.

on the southern slope of Karachan (2318.3) (left slope of the Zheltaya River) In the clayey limestones of the Chakh-Chakh formation, V. T. Akopyan found a shark tooth - *Strophodus* sp. (definition by L. Glinkman), indicating Albian age.

In the core of the Chakh-Chakh syncline there is a coaxial syncline of the Urasar suite, made black mudstones of the Urasar Formation with ophiolite olistoliths. It is composed of dark gray and black mudstones, siltstones and brown sandstones. The Urasar Formation includes ophiolite olistoliths. The latter are contained only in the flyschoid sequence of the Lower Coniacian Urasar Formation. This formation forms two subparallel near-latitudinal cavities. The northern or Dzoraget strip of ophiolites is localized along the bed of the Dzoraget River, also in a synclinal fold of near-latitudinal strike, which extends from the northern slope of Urasar to the east for 20 km to the border of the region. V. T. Akopyan [4] attributed this northern syncline of the flyschoid strata to the Archidzor Formation of Lower Cretaceous age. I assign the sequence of the northern syncline of black mudstones, including ophiolite olistoliths, to the Lower Coniacian Urasar Formation, due to their complete identity. The



Условные обозначения:
 -габбро. -апоперидотитовые серпентиниты.
 -аргиллиты. -алевролиты. -песчаники.

Fig. 1. Outcrops of two heaps of ophiolite fragments within the layered sequence of the Urasar Formation. 1a- Photograph of the outcrop, 1b- Lithological interpretation.

northern syncline, along with ophiolite olistoliths, also contains a large plate of apoperidotite serpentinites of the Dzoraget massif. This plate forms a nappe measuring 1900 m x 800 m, as a remnant of a larger partially eroded and eroded peridotite sheet obducted onto the terrigenous rocks of the Urasar Formation. The Dzoraget massif of serpentinites is surrounded from the west and south by a wide field of crystalline schists of garnet-quartz-two-mica composition and garnet amphibolites. These metamorphic schists also continue uninterruptedly under the base of the serpentinite plate of the Dzoraget massif. Metamorphic rocks form the Dzoraget massif, known since the last century. Previous researchers attributed this massif of metamorphic rocks to the outcropping of the Precambrian crystalline basement of the Lower Paleozoic. Only V.T. Akopyan [4] vigilantly saw the gradual transition of the internal structures of terrigenous rocks of the Urasar formation into crystalline schists, thereby excluding the Dzoraget metamorphic massif from the number of protrusions of the crystalline basement. The continuation of metamorphic rocks under the base of the peridotite plate indicates that the metamorphic rocks were formed as a result of heating under the hot base of the obducted peridotite plate onto the terrigenous rocks of the Urasar Formation. Such metamorphism was described by R. Coleman in the Franciscan Formation, where they were called "halos." We

propose the name "obduction metamorphism" for such metamorphism. V. T. Akopyan [4], when describing the layer-by-layer section of the Urasar Formation, presented the constituent rocks as a rhythmically layered

alternation of dark gray - black mudstones, siltstones with inclusions of ophiolites. He considered ophiolites to be cutting intrusions of basic and ultrabasic rocks of Paleogene age.

The right heap, 21 m high, consists of fragmented clasts and a serpentinite megaclast, while the left heap is an accumulation of shear clasts and gabbro megaclasts. When looking at the photograph of the outcrop and its interpretation in Fig. 1b, it seems that these fragments of oceanic crust were overloaded by huge trucks and dumped into the adjacent continental sea basin and, under their weight, sank into the bottom silt and sank to the base of this basin. forming an olistostrome after lithification.

About the difference between olistostrome and ophiolitic melange, A.L. Kniper [7] writes: "On closer study, the difference between it (olistostrome formation) and the melange of the Sevan-Akerin zone becomes quite obvious. The melange cement is serpentinite, the olistostrome complex is terrigenous, the melange cement is unusually strongly tectonized, and in the cement of the olistostrome formation it is always possible to observe sorted layering and traces of sedimentation flow of sediments.

It seems to me that the opinion of some previous researchers that the Bazum ophiolites belong to an ophiolite mélange [9] or an ultramafic dike [6] is a misconception caused by the great external similarity of the black, dark gray mudstones of the olistostrome matrix with the olistoliths of the ophiolites due to their similar color . The lack of thin sections and chemical analyzes of the matrix from the opponents also played a decisive role. We were the first to study thin sections and chemical analyzes of the matrix of ophiolites of the Bazum horst. They showed that the MgO content in the matrix varies within 2-3 percent, typical of terrigenous clayey-sandy deposits. Whereas the MgO content in serpentinites is ten times higher and amounts to 36 percent. The time of ocean closure, obduction and collision is determined by the Lower Coniacian age of faunal remains discovered by V. T. Akopyan [4,5] in sedimentary rocks of the Urasar Formation: *E chinocorys gravesi* (Desor) Lamb ., *Plagiocythichus sevanensis* Remg., *Radiolites lloprovincialis* Math.

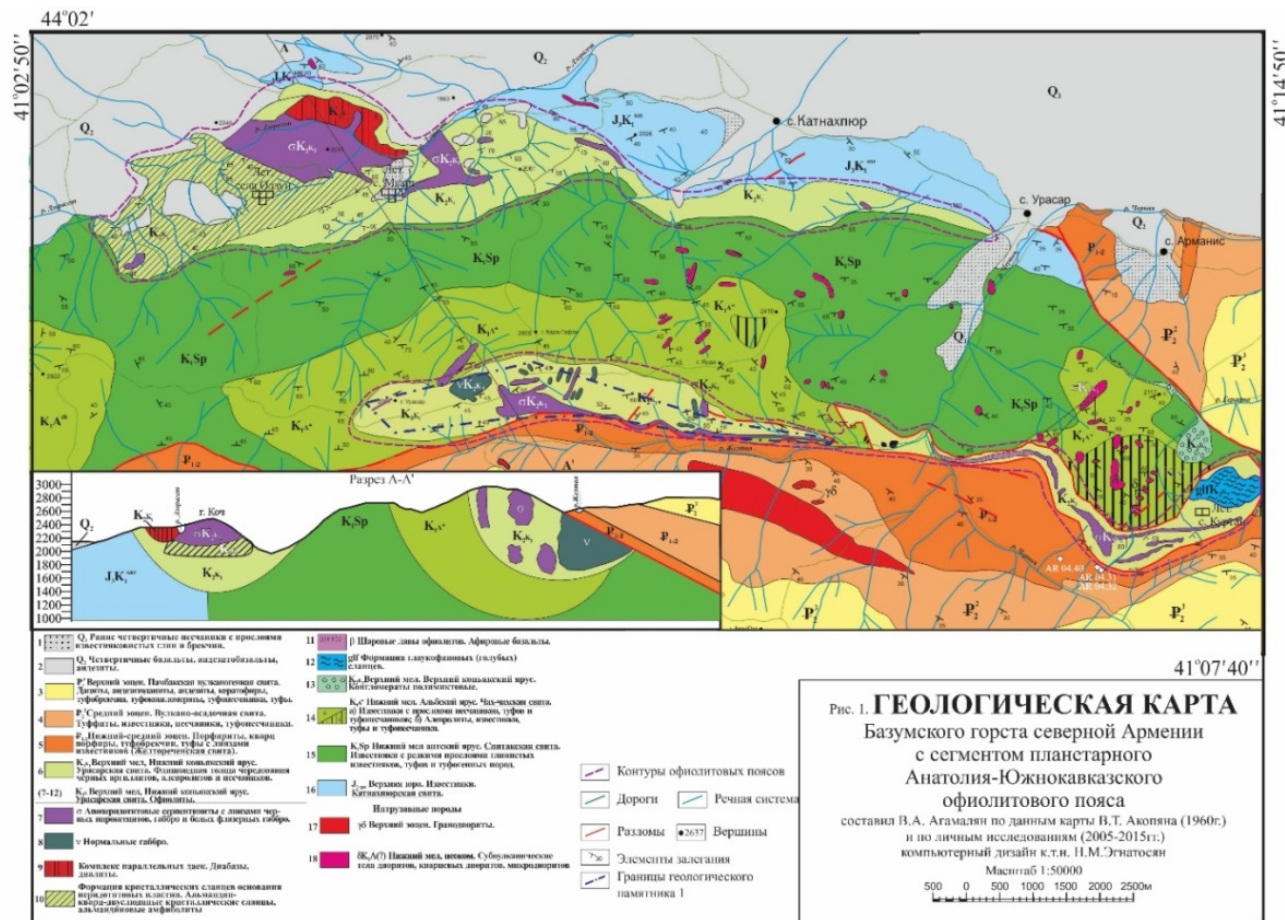


Fig. 2. Geological map of the Bazum horst of Northern Armenia.

References

- [1] Agamalyan V.A. Ancient metamorphic complexes of the territory of the Armenian SSR and their tectonic position. // Materials of the II regional petrographic meeting on the Caucasus, Crimea and Carpathians. Tbilisi : Publishing house _ KIMS, 1978, s. 109-115
- [2] Aghamalyan, V.A. The Lesser Caucasus earth crust formation and evolution in the collision zone of Paleo-Tethys // 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Proceedings 1, Thessaloniki, Greece.,2004, p. 17-20
- [3] Aghamalyan V.A. Formation of glaucophane schists. // Igneous and metamorphic formations of the Armenian SSR. Yerevan: Publishing House of the Academy of Sciences of the Arm SSR, 1981, pp. 121-122
- [4] Akopyan V.T. Stratigraphy of Cretaceous deposits of the northern slope of the western part of the Bazumsky ridge. // Funds of the IGN of the Academy of Sciences of the Armenian SSR, 1961, 127 p.
- [5] Akopyan V. T. On the stratigraphy of Cretaceous deposits of the Bazum Range (Northern Armenia) // News of the Academy of Sciences of the ArmSSR. Ser.geol.i geogr.nauk, vol. 15, no. 1, 1962, pp. 33-45
- [6] Barkanov I.V. Geological sketch of the southern part of the Stepanavan region of the SSR of Armenia. // Yerevan, Funds of the Geology Department of Armenia, 1937, 106 p.
- [7] Knipper A. L. History of the development of the Maly serpentinite mélange Caucasus. // Geotectonics, No. 6, 1971, pp. 87-100
- [8] Knipper A.L., Sokolov S.D. Ophiolites of Vedi (Armenia): autochthon or allochthon? // Geotectonics, No. 4, 1976, p. 54-66.
- [9] Palanjyan S. A. On the geological position of the ophiolites of the Bazum horst. // News of the Academy of Sciences of the ArmSSR. Geosciences, vol. 28, no. 5, 1975, pp. 14-27.
- [10] Sokolov S.D. Olistostrome strata and ophiolite covers of the Lesser Caucasus. // Moscow: Science, 1977, 92 p.

საქართველოს მდინარეთა წყალმოვარდნების სივრცულ - დროითი განვითარება

ბასილაშვილი ც.

ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, სტუ, თბილისი, საქართველო
tsisanabasilashvili@gmail.com

ანოტაცია: განიხილება თანამედროვეობის მწვავე პრობლემა წყალმოვარდნების შესახებ. აღნიშნულია, რომ საქართველოს ბუნებრივი პირობები (მდებარეობა, რელიეფი, ჰიდრომეტეოროლოგია და სხვა) მეტად ხელსაყრელია მაღალი წყალმოვარდნების გავრცელებისათვის, რასაც ხელს უწყობს შავი ზღვის ნოტიო ჰაერის ზემოქმედებით მიღებული თავსხმა წვიმები. ამის გამო, საქართველოში დასავლეთით წყალმოვარდნები უფრო მაღალი და ხშირია, ვიდრე აღმოსავლეთით. განსაკუთრებით მცირე და იშვიათია წყალმოვარდნები მის სამხრეთ ნაწილში. მოცემულია წყალმოვარდნების დარაიონების რუკა, რომელიც შედგენილია მათი მაქსიმალური ხარჯების მაგნიტუდების მიხედვით.

საკვანძო სიტყვები: ეკოლოგიური უსაფრთხოება, კატასტროფა, კლიმატის დათბობა, წყლის მაქსიმალური ხარჯი.

სადღეისოდ, კლიმატის დათბობის პირობებში გახშირდა კატასტროფული წყალმოვარდნები, რომელთაც გამოიწვიეს ტრაგიკული შედეგები. ამიტომ მათი კვლევა აუცილებელი და აქტუალურია. წყალმოვარდნები უძველესი დროიდან ახდენდა ზემოქმედებას გარემოზე, მაგრამ მაშინ მოსახლეობის მცირე სიმჭიდროვის გამო, ის დიდ პრობლემად არ ითვლებოდა. შემდგომში მოსახლეობის მატებისა და გარემოზე მათი ანთროპოგენური ზემოქმედების შედეგად, გაიზარდა სტიქიური მოვლენები და მათგან მიყენებული ზარალი. საქართველოშიც, ადრე მოსახლეობის დიდი ნაწილი მაღალ მთებში ცხოვრობდა. შემდგომში ისინი ჩამოსახლდნენ ბარში და აითვისეს მდინარეთა სანაპირო ტერასები და ჭალებიც, როგორც სასოფლო კულტურების, ასევე შენობების, გზებისა და სხვა სამეურნეო დანიშნულების ნაგებობების ასაგებად.

საქართველო, თავისი ბუნებრივი, გეოგრაფიული და ჰიდრომეტეოროლოგიური პირობებით (რელიეფი, ჰიდროგრაფია, ნალექები და სხვა) მეტად ხელსაყრელია წყალმოვარდნების გავრცელებისათვის. ისინი ხშირად გამოუსწორებელ ზიანს აყენებენ დასავლეთისა და აღმოსავლეთის ცალკეულ რეგიონებს, მათ ბუნებას, ეკოლოგიურ მდგომარეობას, იტბორება და ხშირად ნადგურდება სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები და სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტები, რომელთა დიდი ნაწილი მდინარეთა სანაპიროების ზოლში მდებარეობს. გარდა ამისა, ზიანდება ხიდები, საავტომობილო და სარკინიგზო გზები, კომუნიკაციები, არხები, ილუპება პირუტყვი და ზოგჯერ ადამიანებიც. დიდ მატერიალურ და სოციალურ ზარალთან ერთად, სტიქია იწვევს აგრეთვე წყლისა და მიწის რესურსების საგრძნობ შემცირებას და დაბინძურებას.

საქართველოს მთიანი რელიეფი, რომელიც მთელი ტერიტორიის 75 %-ს შეადგენს, ხასიათდება რთული ტექტონიკურ-ლითოლოგიური აგებულებით. მდინარეთა უმეტესობა მაღალმთიან ზონაში იღებს სათავეს და ამიტომ გამოირჩევიან დიდი ვარდნითა და მაღალი დახრილობით. გარდა ამისა, მათთვის დამახასიათებელია ეროზიული, ლვარცოფული და მეწყრული მოვლენები.

ასეთი ბუნებრივი პირობები წარმოადგენს წყალმოვარდნების ფორმირების მთავარ წინაპირობას, რის გამოც ძლიერი თავსხმა წვიმების დროს მაღალი სიჩქარის ნიაღვრები დიდ ზიანს აყენებს მოსახლეობასა და გარემოს. წყალმოვარდნებს აძლიერებს ის ფაქტიც, რომ კავკასიონის ქედის სამხრეთ კალთებზე მდებარე მდინარეთა აუზები, (კოდორი, ენგური, რიონი, არაგვი) საზრდოობენ იქ არსებული მყინვარებით,

რომლებიც კლიმატის დათბობის პირობებში დნებიან [1]. მათი წყალი გუბდება რელიეფის უარყოფით ფორმებში და წარმოიშობა ტბები, რომელთა ნაწილი უხილავია, რადგან ზევიდან თოვლნარით იფარებიან. ისინი წარმოადგენენ მეტად საშიშ ობიექტებს, რადგან მათი გარღვევა იწვევს კატასტროფულ წყალმოვარდნებს. ასეთი საშიშროება გაძლიერდა ბოლო წლებში, რაც დაკავშირებულია მაღალმთიან რეგიონებში კოკისპირული წვიმების გახშირებასთან, რადგან იქ, სადაც ადრე მხოლოდ თოვლი მოდიოდა, ახლა თავსხმა წვიმაც მოდის. სწორედ ასეთი სიტუაცია შეიქმნა 2023 წლის 3 აგვისტოს კურორტ შოვთან მდ. ჭანჭახის ხეობაში (რიონის აუზი), სადაც დიდი მოცულობის მეწყერის უეცარმა ჩამოსვლამ გაამძაფრა სიტუაცია და გამოიწვია უდიდესი კატასტროფა მრავალი მსხვერპლითა და კურორტის განადგურებით.

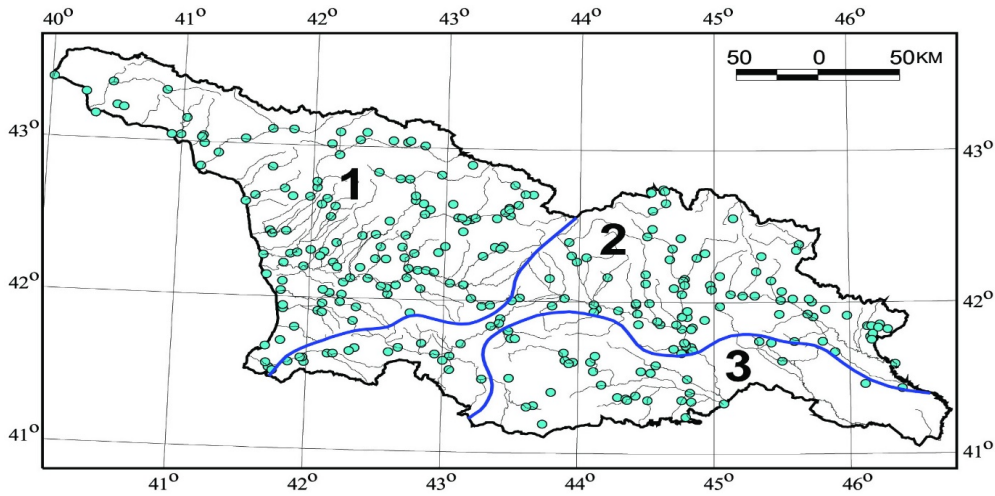
საქართველოს მდინარეთა წყლის ჩამონადენისა და მისი რეჟიმის თავისებურება განპირობებულია მათი აუზების ზედაპირის ხასიათისა და კლიმატური პირობების სხვადასხვაობით. მთიანი რელიეფის პირობებში, წყლის ჩამონადენის ფორმირებაში დიდ როლს თამაშობს აუზის ზედაპირის ვერტიკალური ზონალობაც, რომელიც ცალკეული მდინარის აუზში გარკვეული თავისებურებებით გამოირჩევა. ამიტომ თითოეული მდინარის აუზში ჩამონადენის მაფორმირებელი ფაქტორების ცვალებადობა სხვადასხვა ხასიათს ატარებს, როგორც დროში, ისე სივრცეში. ამის გამო, მდინარეთა წყალმოვარდნები და მათი მაქსიმალური ხარჯების პიკები არ არიან იდენტურები და ხასიათდებიან გარკვეული ინდივიდუალობით. ამ მხრივ, განსაკუთრებით დიდ სირთულეს ქმნის მთებში მოსული ნალექების არათანაბარი განაწილება. მდინარეებზე წყლის მაღალი ხარჯები ფორმირდება როგორც წვიმისა და თოვლის დნობის ერთობლივი მოქმედებით, ასევე მხოლოდ წვიმის წყლებით დაბლობებში, მაღალ მთებში კი მნიშვნელოვანია ნადნობი წყლების როლი.

მთებში, სადაც ნაკლებია ნიადაგის სისქე, მოსული წვიმის წყალი სწრაფად ჩაედინება მდინარის კალაპოტში და ამიტომ წყალმოვარდნა ატარებს მძვინვარე ხასიათს. მცირე ფართობის მქონე მდინარეებზე წყალმოვარდნები იწყება წვიმის მოსვლიდან უკვე რამდენიმე საათში, მაქსიმალური ხარჯიც გაივლის იმავე დღეს. რაც მეტია აუზის დახრილობა, მით ნაკლებია წყლის დანაკარგები ნიადაგში ინფილტრაციაზე, ჰაერში აორთქლებაზე და მცენარეთა დასველებაზე. ინფილტრაცია მაღალია წვიმის დაწყებისას, ამიტომ წყალმოვარდნა იწყება მხოლოდ მაშინ, როდესაც წვიმის ინტენსივობა მეტი იქნება მათი დანაკარგების ინტენსივობაზე.

მრავალწლიან რიგში, შავიზღვისპირა მდინარეებზე ყველაზე მაღალი წყალმოვარდნები აღირიცხება მდ. ბზიფიდან მდ. სუფსამდე იანვარ-თებერვლის თვეებში, ხოლო სუფსიდან მდ. ჭოროხამდე მარტი-აპრილის თვეებში. ყველა სხვა მდინარეზე, როგორც დასავლეთ ისე აღმოსავლეთ საქართველოში, მაღალი წყალმოვარდნები ხდება უმეტესად ივნის-აგვისტოს თვეებში [2]. განსაკუთრებით დიდი სიმაღლისა და დამანგრეველი ენერჯის წყალმოვარდნები მოსალოდნელია წლის ყველა დროს დასავლეთ საქართველოს მდინარეებზე, სადაც ხშირად აღინიშნება თავსხმა წვიმები, როდესაც მდინარეთა წყლის დონეები 2-4 -ჯერ აღემატება ჩვეულებრივი წყლის მაქსიმალურ დონეებს, რაც დიდ ზიანს აყენებს ქვეყნის ეკონომიკას. მაღალი წყალმოვარდნების დროს გავლილი მაქსიმალური ხარჯების მნიშვნელობები უმეტეს შემთხვევაში შეესაბამება 1 %-იან უზრუნველყოფას, 100 წლიანი განმეორებადობით (მდ. ბზიფი, ენგური, რიონი, ტეხური, ჩხერიმელა და სხვა). დანარჩენ მდინარეებზე მაქსიმალური ხარჯების განმეორებადობა 20-50 წელია.

წყალმოვარდნებზე არსებული მრავალწლიანი სტაციონალური დაკვირვებათა, აგრეთვე ისტორიული, ინფორმაციული და სხვა მრავალი წყაროების მონაცემების საფუძველზე [3] მიღებული მაქსიმალური ხარჯების (Q , მ³/წმ) შესაბამისი მაგნიტუდების ($\log Q$) მიხედვით შედგენილ იქნა საქართველოს ტერიტორიის დარაიონება ზონების სახით (ნახ. 1). გამოყოფილი სამი ზონიდან პირველ (1) ზონაში გაერთიანებულია ყველაზე მაღალი ინტენსივობისა და სიხშირის წყალმოვარდნების მქონე დასავლეთ საქართველოს მდინარეები, რომელთა წყლის ჩამონადენის ფორმირებაზე დიდ გავლენას ახდენს შავი ზღვის ნოტიო ჰაერის მასების აქტიური ზემოქმედება. ამიტომ აღმოსავლეთით ამ ზონის გამყოფი ხაზი გაუყვება ლიხისა და მესხეთის ქედებს, რომელნიც აფერხებენ ნოტიო ჰაერის მასების გადაადგილებას აღმოსავლეთის მიმართულებით. მეორე (2) ზონა მოიცავს ამ ქედების აღმოსავლეთით მდებარე მდინარეებს დაწყებული მდ. აჭარისწყლიდან აღმოსავლეთით მდ. ალაზნის ჩათვლით, სადაც წყალმოვარდნები ხასიათდება პირველ ზონასთან შედარებით ნაკლები ინტენსივობით. მესამე (3) ზონაში კი გაერთიან-

ნებულია ჯავახეთის ზეგნის, ქვემო ქართლის და მდ. იორისა და ალაზნის ქვემო წელის მშრალი ველები, სადაც აღინიშნება ყველაზე დაბალი ინტენსივობისა და სიხშირის წყალმოვარდნები.



ნახ. 1. საქართველოს ტერიტორიის დარაიონება მდინარეთა წყალმოვარდნების მაქსიმალური ხარჯების მაგნიტუდების მიხედვით.

ვინაიდან მომავალში ნავარაუდევია ტემპერატურის კვლავ მომატება [4,5], ამიტომ მოსალოდნელია ანომალური ნალექებით გამოწვეული წყალმოვარდნების სიხშირისა და მათი ნეგატიური შედეგების გაზრდა, რაც მკვეთრად აისახება მთის მცირე მდინარეებზე, რომლებიც მიედინებიან ვიწრო და ღრმა ხეობებში და თავსება წვიმების დროს ქმნიან დიდ საფრთხეებს მათი კალაპოტების მოცულობის მცირე ზომების გამო.

მდინარის სანაპირო ზონის ათვისებისათვის საწყის მონაცემს წარმოადგენს მისი წყლის უდიდესი მაქსიმალური ხარჯი. ამიტომ ყველა წყალსამეურნეო და სხვა ძირითად ნაგებობათა პროექტების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების დასაბუთებისათვის აუცილებელია წყალმოვარდნების მაქსიმალური ხარჯების საიმედო განსაზღვრა. ამ მიზნით [2] ნაშრომში მოცემულია 1957-1980 მ წლებში ჩატარებული სტაციონალურ დაკვირვებათა მონაცემების ანალიზით მიღებული მდინარეთა წყალმოვარდნების მაქსიმალური ხარჯების მნიშვნელობები საქართველოს მთავარ მდინარეთა 28 ჰიდროკვეთისათვის. 1991 წლამდე არსებული დაკვირვებათა მონაცემებით დაზუსტებული მდინარეთა უდიდესი მაქსიმალური ხარჯები 42 ჰიდროკვეთისათვის მოცემულია [6] ნაშრომში, ხოლო [7] ნაშრომში მოცემულია აღმოსავლეთ საქართველოს 68 ჰიდროკვეთის მაქსიმალური ხარჯები.

მომავალში წყალმოვარდნების გახშირებისა და მათი მანვ შედეგების თავიდან აცილების მიზნით საჭიროა მაქსიმალური ხარჯების დაზუსტება უახლესი მონაცემების საფუძველზე. მათმა გათვალისწინებამ წყალსამეურნეო გაანგარიშებებში შეიძლება თავიდან აგვაცილოს დიდი მატერიალური ზარალი. მაგრამ, 90-იანი წლებიდან საქართველოს მდინარეებზე აღარ იზომება წყლის ხარჯები, ისინი განისაზღვრება მიახლოებით წყლის დონეების მიხედვით.

წყალმოვარდნებისა და სხვა სტიქიურ მოვლენათა პრობლემა ამჟამად მეტად აქტუალური ხდება, რადგან ჩვენი ქვეყანა რეალურად იქცა ევროპისა და აზიის დამაკავშირებელი საავტომობილო და სარკინიგზო, აგრეთვე გაზისა და ნავთობის სატრანსპორტო დერეფნად. ამ დერეფანს მომავალში კვლავ ელის განვითარება, რაც ქვეყნის წინაშე წამოჭრის ბევრი პრობლემის გადაჭრის საკითხებს. სამეურნეო აქტივობის შედეგად იზრდება გარემოს ტექნოლოგიური დატვირთვა, მაღალია წყალსატევებისა და ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება. შესაჩერებელია ნიადაგების ეროზია, მოსაწყობია ჩამდინარე წყლების გამწმენდი ნაგებობები, მოუწესრიგებელია სატყეო მეურნეობის მართვა, საწარმოო ნარჩენების პრობლემა, ზოგიერთ დასახლებულ პუნქტებში სასმელი წყლის მომარაგება და სხვა. ასეთი რთული ეკოლოგიური მდგომარეობა უარყოფითად მოქმედებს მოსახლეობის ჯანმრთელობაზე.

საქართველოს კონსტიტუციით სახელმწიფო ვალდებულია უზრუნველყოს მოქალაქეთა გარემოს ეკოლოგიური უშიშროება. ამისათვის საჭიროა რეგულარულად ხდებოდეს დაკვირვებები გარემოს მდგომარეობაზე, უნდა გაიზარდოს ჰიდრომეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა ქსელი, რათა ზუსტად მოხდეს მათი ინფორმაციის ანალიზით ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება, საფრთხეების გამოვლინება, მათი დროული შეტყობინება და შესაბამისი პრევენციული ღონისძიებების ჩატარება.

მადლიერება: კვლევა განხორციელდა საქართველოს შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით [FR – 21 - 1808]

ლიტერატურა

- [1] გორგიჯანიძე ს., ცინცაძე ნ. მყინვარების უკან დახვევის შედეგად წარმოშობილი დაგუბებული ტბების გეოგრაფია. // ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტ. 111, თბ., 2007, გვ. 43-49.
- [2] ბასილაშვილი ც. მრავალფაქტორიანი სტატისტიკური მეთოდოლოგია წყალდიდობა-წყალმოვარდნების პროგნოზირებისათვის. // ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბ., 2013, 180 გვ.
- [3] 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>
- [4] კლიმატის ცვლილების შესახებ საქართველოს მეოთხე ეროვნული შეტყობინება. // თბ., 2020.
- [5] 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>
- [6] ბასილაშვილი ც. საქართველოს მთის მდინარეთა წყლის მაქსიმალური ხარჯების სივრცულ-დროითი ცვლილებები კლიმატის დათბობის ფონზე. // მეცნიერება და ტექნოლოგიები ტექნიკური უნივერსიტეტი, № 3 (732), თბ., 2019, გვ. 40-51.
- [7] ბასილაშვილი ც., სალუქვაძე მ., ცომაია ვ., ხერხეულიძე გ. წყალდიდობები, ღვარცოფები და თოვლის ზვავები საქართველოში და მათი უსაფრთხოება.// ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბ., 2012, 243 გვ.

SPATIO-TEMPORAL DEVELOPMENT OF FLOODS OF GEORGIAN RIVERS

Basilashvili Ts.

Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia
tsisanabasilashvili@gmail.com

Abstract: the paper deals with the current acute problem of water falls underscoring that the natural conditions in Georgia (location, terrain, hydrometeorology, etc.) are favorable for high water floods, which is facilitated by the heavy rains caused by the humid air of the Black Sea. Because of this, floods in West Georgia are higher and more frequent than in the East. Floods are especially small and rare in its southern part. A map of flood regions compiled according to the magnitudes of their maximum costs is provided.

Key words: climate warming, disaster, environmental security, maximum water consumption.

STUDY WATER CYCLE PROCESS ON THE TERRITORY OF GEORGIA

¹Melikadze G., ²Todadze M., ³Tchankvetadze A., ⁴*Chitanava R., ⁵*Gaprindashvili M., ⁶*Chikadze T.

¹Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
²National Environmental Agency, Tbilisi, Georgia
melikadze@gmail.com

Abstract. Application of environmental tracers was using in the assessment of water cycle process and groundwater vulnerability will be elaborated. Was starting organization monitoring network for study spatial-temporal variation of stable isotope on the territory of Georgia.

Key words: stable isotopes, monitoring network, seasonal variation.

Introduction

Monitoring of isotopic tracers over the country would provide the essential information which is currently not available in Georgia and expand the opportunities for both research and practical recommendations related to the hydrological cycle and water management. Stable and radioactive isotopes (¹⁸O, ²H, ³H) of the water molecule provide the information which may otherwise be difficult or impossible to obtain, e.g., example on the time spent by the water in an aquifer, altitude of groundwater recharge area, contribution of river or snowmelt waters to the production wells, or identification of old waters recharged during other climatic conditions [1-5].

Material and methods

The project of Georgian Scientific foundation FR-18-10092 "Mapping environmental tracers for the assessment of water resources in Georgia under Changing Climatic Conditions" consists in the regional application of isotopic and hydrochemical methods for a better understanding of water cycle process and links among groundwater's, surface waters and pollution sources.

The main aim of the project is Analysis of spatial and temporal distribution of isotopic and geochemical composition of natural waters in Georgia, identification of perspective water resources and their potential vulnerability. Organize new and use of existing monitoring networks for determining the background and character of variations isotopic and geochemical composition.

In the frame of project, from the 2019, the temporal (monthly) sample collection for isotopic analyses carried out in the existing networks of Geological Hydrometeorological Departments of National Environmental Agency (NEA) of Ministry of Environmental protection and Agriculture. Their network consists 8 GNIP (Global Network of Isotopes in Precipitation) and 4 GNIR (Global Network of Isotopes in Rivers) stations. Furthermore, monitoring network of Geological department that includes 34 boreholes and 6 springs. Supplementary data hydrological and meteorological data from the existing networks (e.g. precipitation amount, air temperature, river discharge, results of chemical and isotopic analyses, water conductivity and pH) will be used too. Based on the existed agreement between mentioned above organization and Institute of Geophysics, carry out sampling for isotope by NEA, which will be carried out for analysis in the Institute of Geophysics. In addition, Union water Company monthly collect samples for analyses stable isotopes. Besides, Institute of Geophysics monitoring network included the deep boreholes monitoring network (www.hggrc.net), which covered all the territory of Georgia and where carried out monthly sampling campaign for chemical and isotope analysis. The existing and newly obtained data are using for assessment temporal variation of stable isotopes and geochemical parameters (background, seasonal variation etc.)

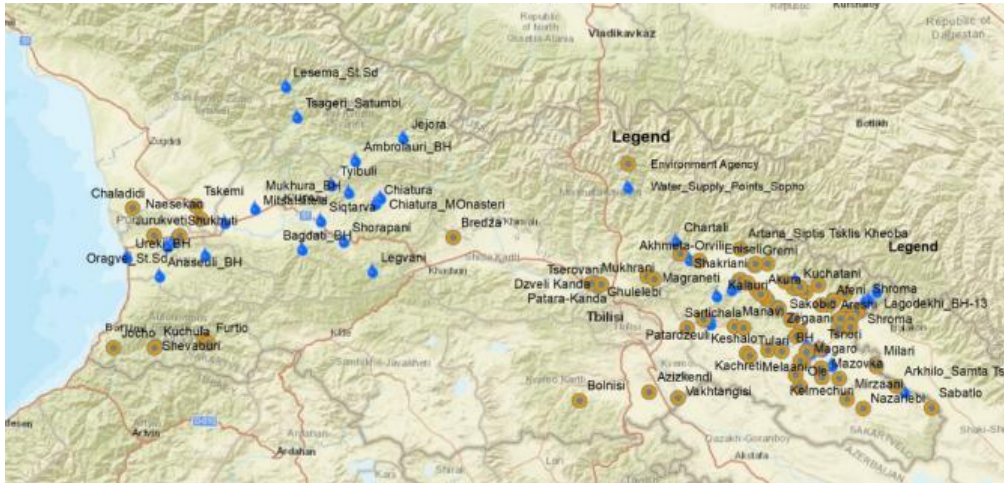




Fig. 1. Location monitoring network on the territory of Georgia.

 surface water monitoring station;  Shallow groundwater monitoring station.

For example, demonstrated variation of parameters on the Tbilisi metrological station, as one of station from the GNIP network.

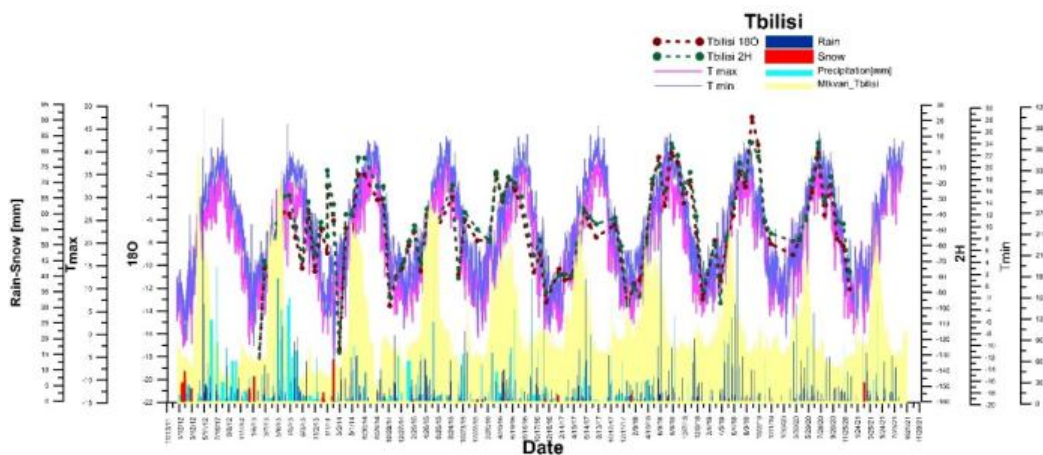


Fig.2. Variation of parameters on the Tbilisi metrological

Variation of atmospheric precipitation at the Tbilisi Meteorological Station since 2012 year: rain and snow (blue and red vertical lines), maximum air temperature (crimson line), minimum temperature (blue line), stable isotopes 18O (red dashed line) and 2H (blue dashed) and river flow (yellow) variations.

The join material allows for the tracking of seasonal variations. An analysis of the change in the isotopic composition of the atmospheric precipitation was made. The obtained results reveal that the precipitation falling in the form of snow is isotopically light, which is completely regular. The values of 18O vary from (-35) to (-5), and the value of 2H varies from (-90) to (-10). Precipitation in the form of snow is very little, because the air temperature rarely falls below zero.

Average annual and monthly values of $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{2}\text{H}$ stable isotopes in sediments, as well as ranges and amplitudes of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{2}\text{H}$ changes were calculated for these stations. The national meteorological water line (NMWL) for Georgia and local meteorological water lines for individual precipitation stations were determined by linear regression using all monthly values. NMWL represents the covariance of the countrywide spatial variation of $\delta^{2}\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ values.

Monthly river water samples were collected between 2013 and 2022 from several major rivers, including the Rion River in western Georgia and the Mtkvari River in central Georgia and the Alazani River in eastern Georgia.

Complex information on the isotopic composition of precipitation and river runoff was used to estimate the river's recharge area, their places of origin, and the mean transit time the water in the catchment.

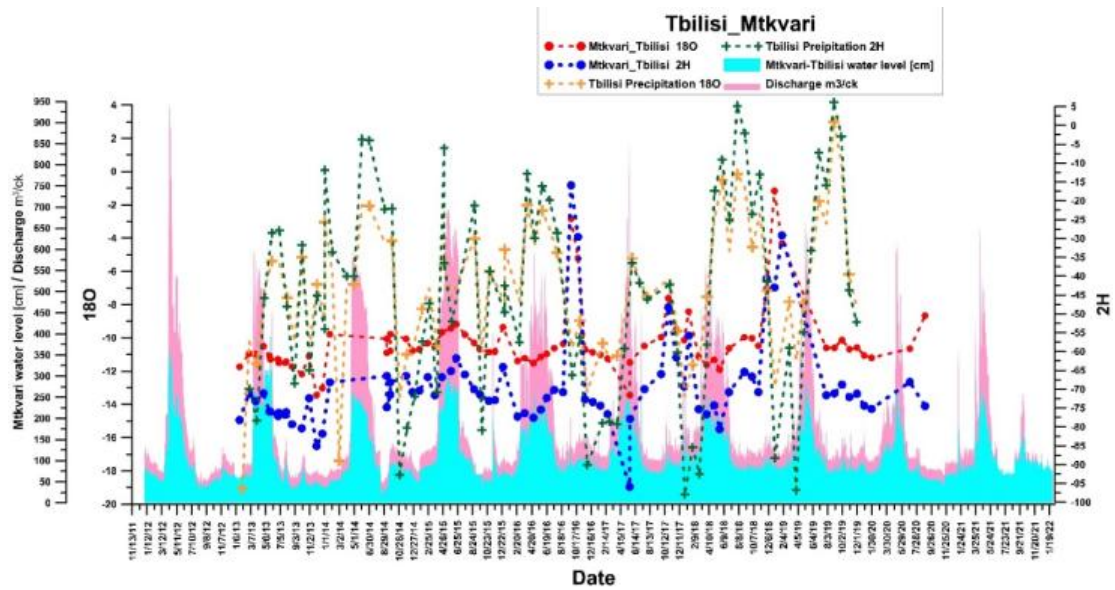


Fig. 3. Variation of parameters in river Mtkvari

The figure shows the variations of the water level (orange curve) and discharge (crimson) in the Mtkvari River, which coincide with the variations of the isotopic composition of the river (red and blue) and the isotopic composition of the atmospheric precipitation (green and yellow dots).

In order to study the development of processes in underground waters, hydrochemical and isotopic tests were performed periodically (once in 1-1.5 months) in the wells. Below is an example of graphs of isotopic composition changes in one of the Gurjaani wells.

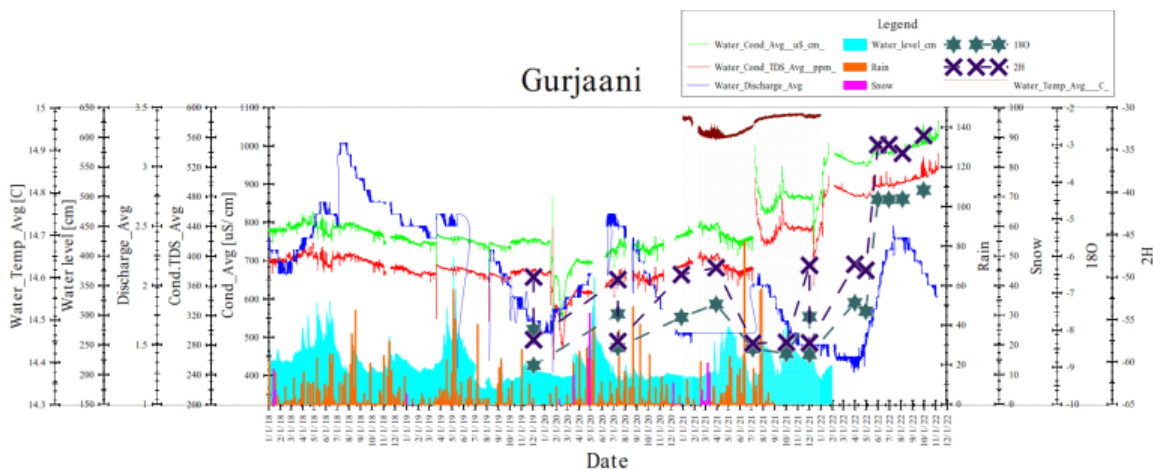


Fig. 4. Variations of underground water parameters in the Gurjaani borehole.

The figure shows the variations of atmospheric precipitation (brown) and discharge (dark blue) in the Gurjaani well completely coincide with the variations of isotopic composition (black star and cross), temperature (brown), river water conductivity (green) and total mineralization (red) in the river.

At the same time, in the change of the chemical and isotopic composition of the waters, a clear regularity was observed. The isotopic composition of atmospheric precipitation is characterized by the lightest "young" composition. The isotopic composition becomes "heavier" along with the displacement towards the direction of moving in surface and further underground waters. This indicates the direction of water flow.

Using stable isotopes, it is possible to follow this process and determine the mean transit time of water flow. This can be done by comparing the isotopic composition of water. In particular, by combining the isotopic

composition of atmospheric precipitation at the meteorological station with the isotopic composition of the river station or groundwater boreholes of the study area.

"Method of sinusoidal curves" was used to determine the average time of groundwater flow according to the exponential model. For this, sinusoidal curves were built with the data of individual stations and the corresponding analysis was carried out. Specifically, the curve of isotopic data in atmospheric sediments of Bakuriani station and the isotopic data curve of river water at Likan station were compared. Among them, the Bakuriani station is located at a higher point, and Likan is 1099 m above sea level.

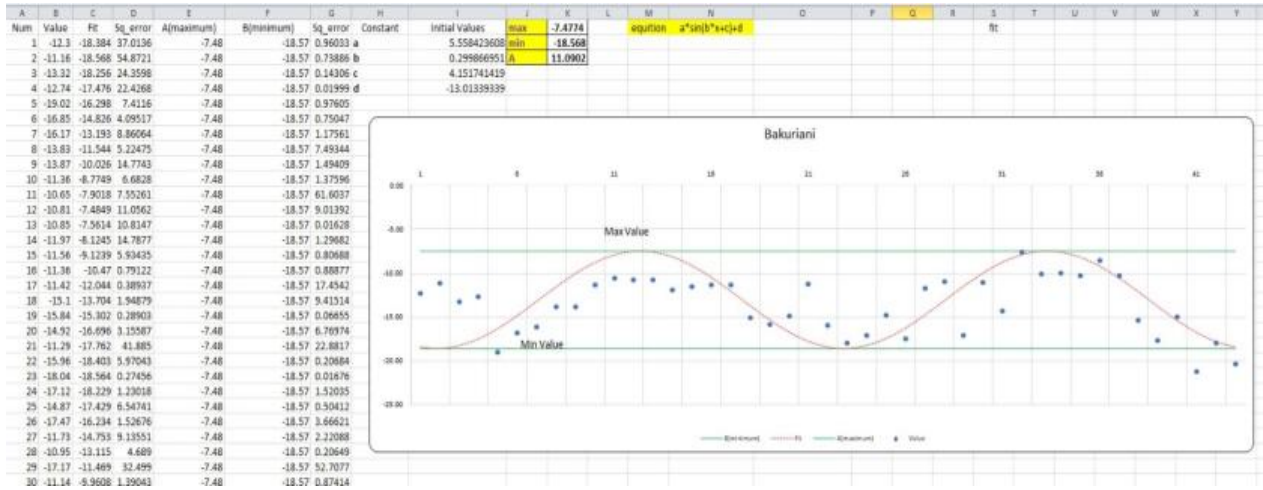


Fig.5. Sinusoidal graph of change of monthly isotopes of precipitation in Bakuriani station

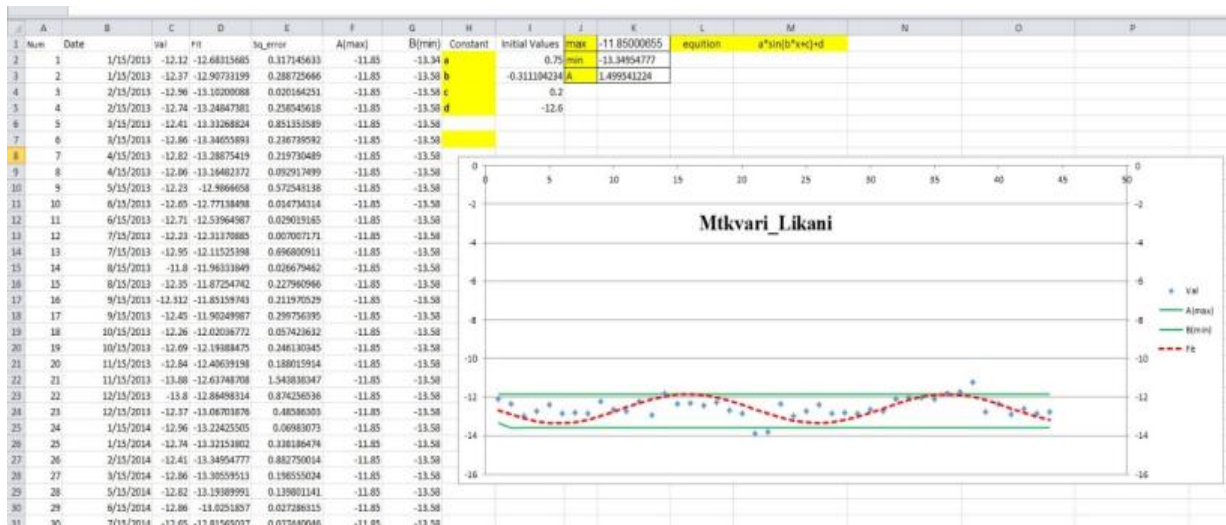


Fig.6. Sinusoidal graph of monthly isotope data changes on Mtkvari river

A – isotopic value of precipitation

B - isotopic value of river

To calculate the mean transit time, the average value of precipitation was used as "input" data, and the isotopic value of the Mtkvari River was used as "output" data, and their dependence on each other was determined through the formula.

A - isotopic value of sediments

B - isotopic value of river water

$$MTT = \sqrt{2 * \pi} / (f_2 - f_1)$$

From where $f_2 = \sqrt{1/f_2 - 1}$, $f_2 = B/A$, $1/f_2 = 1/POWER$

The movement time calculated by the simple sinusoidal wave method was determined that the mean transit time of the water flow from the infiltration of the sediments into the soil at the Bakuriani station to their unloading in the Mtkvari river (near Likani) is about 1 month.

Conclusions:

Isotopic composition of water in the study area evolves according to a line parallel with the global meteoric water line. Studied average value of stable isotope (^{18}O - ^2H) and its relationship. Fixed isotope value in different water source (precipitation, surface and groundwater) and following evolution of groundwater isotopic composition in the space (pathway from recharge to the discharge area) and temporal (seasonal variation) variation.

References

- [1] Melikadze G., Chelidze T., Zhukova N., Rozanski K., Dulinski M., Vitvar T. Using nuclear technology for environmental safety and sustainable development of water resources in Borjomi region (Southern Georgia). // Journal of Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Issue (A), Physics of Solid Earth 13a, 2009, pp. 17-25.
- [2] Melikadze G., Chelidze T., Jukova N., Malik P., Vitvar T. Using Numerical Modeling for Assessment of Pollution Probability of Drinking Water Resources in Borjomi Region (Southern Georgia). // In: Climate Change and its Effects on Water Resources, Issues of National and Global Security (Baba A., Tayfur G., Gunduz O., Howard K.W.F., Fridel M.J., Chambel A., eds.), NATO Science Series. Springer. ISBN:978-94007-1145-7. Chapter 29, 2011, pp. 267-275.
- [3] Vitvar T., Aggarwal P.K., Herczeg A.L. Global Network is launched to monitor isotopes in rivers. // EosTrans. AGU 88. 2007, pp.325-326.
- [4] Melikadze G., et al. Preliminary result of stable isotopes monitoring in the Alazani-Iori catchment. // Journal of Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Issue (A), Physics of Solid Earth, v.17a, 2014, pp. 39-46.
- [5] Melikadze G., Zhukova N., Todadze M., Vepkhvadze S., Vitvar T. Result of numerical modelling of groundwater resource in the Shiraki catchment". // Journal of Georgian Geophysical Society, ISSN: 15121127, Physics of Solid Earth, v. 17a, 2014, pp. 102-108.

Acknowledgments: The authors thank the Rustaveli National Scientific foundation for financial support of the project #FR-18-18-10092 "Mapping environmental tracers for the assessment of water resources in Georgia under Changing Climatic Conditions".

ASSESSMENT RESERVOIR TEMPERATURE OF WEST GEORGIAN GEOTHERMAL DEPOSIT BY APPLICATION OF SILICA-ENTHALPY MIXING METHOD

*Melikadze G., *Kapanadze N., **Forizs I., *Chikviladze E.

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

**Institute for Geological and Geochemical Research, Budapest, Hungary melikadze@gmail.com

Abstract. This study to use geochemical techniques to evaluate geothermal reservoir in West Georgia. About Thirty thermal water samples were taken from existing thermal boreholes on the territory of West Georgia. The samples revealed the majority have Na-K-HCO₃ composition compared to just some of them Na-K-Cl-SO₄ and Ca-MgSO₄-Cl. Water-type changes from Sulfate-Chloride to bicarbonate from the West to the East were also observed. Reservoir temperature estimations by silica-enthalpy method is 130 °C, 163 °C, 212 °C.

The results of this and other current studies manifest the need for further researches and the steps and methodology thereof.

Key words: geochemistry, geothermal reservoir, geothermometers, silica-enthalpy mixing method.

Introduction

The objective of this study is to investigate the geochemical characteristics of the thermal waters. For hydrogeochemical evaluation, the commonly used Durov and L-L diagrams approach has been used. In order to assess the maximum reservoir temperature, the silica-enthalpy mixing method was applied.

Field survey-sampling-analytical methods

All analyses were carried out at the chemical laboratory of the Research Center of Hydrogeophysics and Geothermy, M. Nodia Institute of Geophysics, Ivane Javakishvili Tbilisi State University. Unstable hydrochemical parameters, including temperature, pH and electrical conductivity (EC) were measured with portable field laboratory WTW 197i which was calibrated in the field prior to every sampling. Physico-chemical data of the area were subjected to graphical treatment by plotting them in different diagrams using "Aquachem 5.1" software (Schlumberger water services) and graphing package "Grapher10" (Goldensoftware) in order to better understand the hydrochemical processes in the study area.

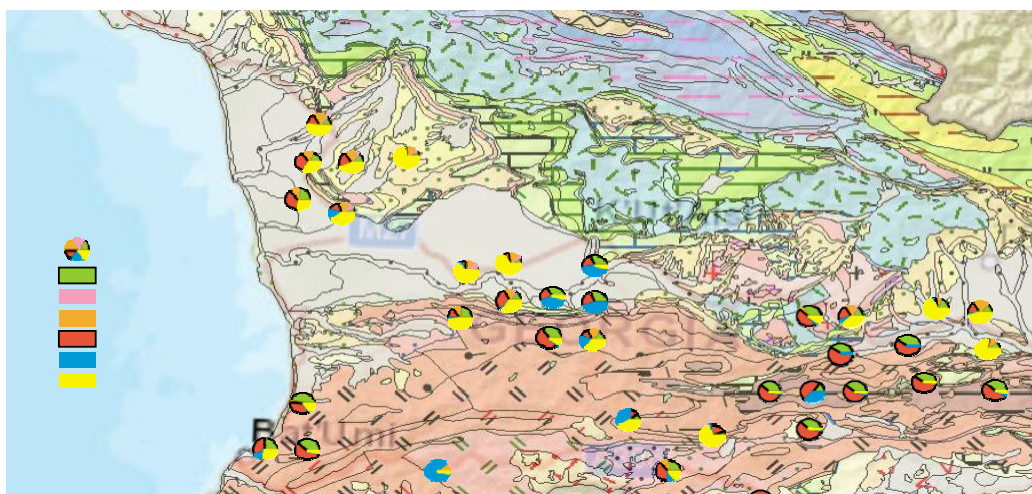


Fig. 1. Distribution of hydrochemical composition in boreholes on the territory of Georgia

Silica-enthalpy mixing method

Application of chemical composition silica geothermometers is a common practice to investigate the thermal state of geothermal reservoirs [4]. Geothermal water transfers heat to the contact rock while rising to the surface and they have lower temperatures than the reservoir.

In order to investigate the thermal state of geothermal reservoirs the chemical geothermometers, as a standard tool, were applied. The data of chemical analyses of water collected from the thermal boreholes and the SiO₂ concentration in waters were used for subsurface temperature calculation by using silica-enthalpy mixing model.

The sample LR-01, having the minimum SiO₂ concentration and temperature, was used as the non-thermal component of the mixed waters. In Figure 2 possible a, b and c mixing lines were drawn. If we assume that maximum steam loss occurs before mixing, the three lines drawn from the cold-water component of the mixed water through the mixed thermal waters till the intersection with the vertical line drawn from the boiling (100 °C) temperature - as a steam release temperature, will give 3 points A, C, E. And the intersections of drawn horizontal lines from these points to the quartz solubility curve (B, D and F) correspond to the maximum steam loss. The values of obtained points give the original silica concentration of the thermal water component. The values are about 130 °C, 163 °C, 212 °C.

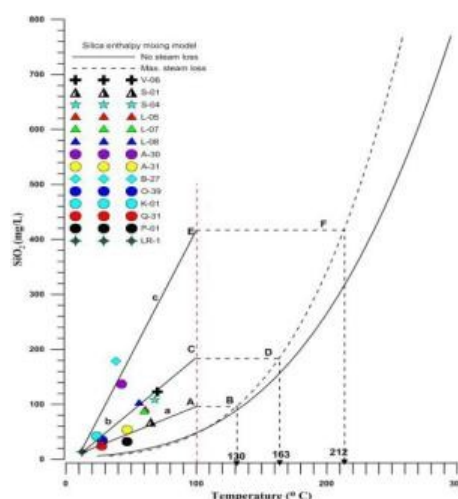


Fig. 2. Silica enthalpy mixing model (Truesdell and Fournier, 1977)

LR-1 represents the Legvtakhevi river sample, which is used for non-thermal component. Sample IDs correspond to all tables and Figures

Table 1. Distribution of temperature on the surface and in the depth of boreholes.

BoreholesN	Location	X	Y	Eleva taion	pH	Temper onthe surface	Temper in aquifer
TS-1	Green-house	42,470468	41,83253	59,3	7,48	87,5	192
TS-2	Tsaishi bor. 1	42,450018	41,809178	54,6	7,32	87,4	204
TS-3	Tsaishi bor. 8	42,451932	41,801215	33,0	7,34	95	194
TS-18	Tsaishi bor. 18				7,18	92,6	198
KH-1	Khobi, bor. Green-house	41,912864	42,317098				158
AR01	Makhinjauri bor.	41,703661	41,669386	32,0	8,84	36,6	81
AR02	Kobuleti bor, with oil	41,798521	41,821065	27,4	8,4	35,7	59
RR01	Buturauli bor.	42,246238	41,624797	596,0	8,2	20,4	50
GU28	Qyeda Dzimiti bor.	42,051158	41,981795	45,7	8,75	25,4	
GU37	Sachamias-Seri	42,299368	42,040352	75,2	9,957	26	
JA14	Abastumani bor. Samefo abano	42,838219	41,744829	1268	9,45	37,1	101

IM41	Sulori bor.	42,580505	42,034134	193	9,95	37,3	116
IM164	Amagleba bor 1	42,626776	42,094409	65,7	6,5	35,7	92
IM170	Amagleba bor 2	42,627114	42,095929	65,9	6,4	40,5	99
IM171	Dikhashkho bor.	42,576016	42,089551	51,8	6,5	35,9	105
IM172	Chgan-Chgvishi bor	42,411268	42,126458	28,3	6,769	48,4	99
IM177	Tsikhesulori bor	42,472566	42,112028	31,5	6,64	54,4	100
IM173	Vani bor	42,517604	42,09255	50,9	7,3	32,5	
IM173	Dikhashkho bor.	42,586878	42,104496	57,2	6,3	41,1	98

The increase of temperature amount in the aquifer depends on the depth of the boreholes and the thermal properties of the rocks crossing by the boreholes.

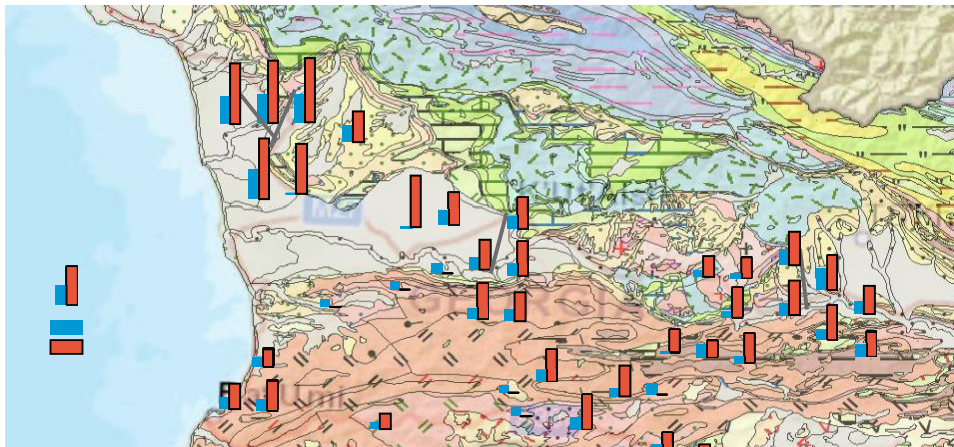


Fig. 3. Distribution of temperature in Georgian boreholes
Blue column - well water temperature at the wellhead, red column - water temperature in the aquifer

Conclusions:

Deep thermal water migrating upward mixes with shallow groundwater system and changes its chemical properties. Thermal waters have mainly Na (K)-HCO₃, Na (K)-Cl-SO₄ and Ca (Mg)-Cl-SO₄ composition. The reservoir temperatures according to silica-enthalpy method give the values about 130 °C, 163 °C, 212 °C, that should be corrected by application of silica and cations' geothermometers.

References

- Durov S.A. Classification of natural Waters and Graphical Representation of Their Composition. // Doklady Akademii Nauk SSSR (DAN SSSR) 59(1), 1948, pp. 87-90.
- Loid J.W., Heathcoat J.A. Natural Inorganic Chemistry in Relation to Groundwater: An introduction. // Oxford University Press (OUP), New York, 1885, p. 296
- Langelier W., Ludwig H. Graphical methods for indicating the mineral character of natural waters. // Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) 34, 1942, pp. 335-352.
- Fournier R.O. Silica in thermal waters: Laboratory and field investigations. // International Symposium on Hydrogeochemistry and Biochemistry Proceedings, Tokyo 1. Clark Co. Washington D.C, 1973, pp. 122-139.
- Trudell. A.H., Fournier R.O. Procedure for estimating the temperature of a hot water component in mixed water using a plot of dissolved silica vs. enthalpy. // U.S Geological Survey Res. 5, 1977, pp. 49-52.

Acknowledgments: The authors thank the Rustaveli National Scientific foundation for financial support of the project FR-18-19173 "Study of geothermal potential of Georgia by hydrogeochemical and isotope methods".

**მდინარე ჭოროხის ნატანის მიერ გამოწვეული ცვლილებები და თანამედროვე მიდგომები
აჭარის სანაპიროს ზოლში**

მაკალათია ი., ბილაშვილი კ., კერესელიძე დ.

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო
Irma.makalatia@ens.tsu.edu.ge

ანოტაცია. საქართველო საზღვაო ქვეყანაა და მნიშვნელოვანია კარგად გავანალიზოთ დინამიური პროცესები, აღმოსავლეთ სანაპირო ზოლში. კერძოდ, აჭარის სანაპიროს აკუმულაციური ზოლი თითქმის მთლიანად მდ. ჭოროხის ალუვიური ნატანით არის წარმოქმნილი. ის გარემოება რომ მდ. ჭოროხის ნატანის სრულად გადაკეტვა აუცილებლად გამოიწვევს უარყოფით შედეგებს, აუცილებელია მომავალში ავიცილოთ და შევძლოთ სანაპირო ზოლის ინვერტირებულ მართვა და ზოგადად მდგრადი განვითარების კონცეფციის შექმნა.

საკვანძო სიტყვები: შავი ზღვა, მდგრადობა, ეკოლოგია

აჭარის სანაპირო ზოლი, განსაკუთრებით კახაბრის ვაკე წარმოქმნილია მდ. ჭოროხის მყარი ნატანისა და ზღვის ტალღების ურთიერთქმედების შედეგად. ზღვიურ შესართავში გამოტანილი ალუვიური მასალის ნაწილი აკუმულირდებოდა ადგილზე, ნაწილი იკარგებოდა წყალქვეშა კანიონში, ხოლო დანარჩენი ტალღების ტრანსპორტირება ხდებოდა ჩრდილოეთით და აღწევდა მდ. ნატანებამდე.

აჭარის სანაპიროს შესახებ ყველაზე ადრეული ინფორმაცია არსებობს XIX საუკუნის დასაწყისიდან. იმ დროისათვის ბათუმის კონცხთან დაგროვდა იმდენად დიდი რაოდენობის მასალა, რომ ზღვის კიდე მაქსიმალურად მიუახლოვდა დიდ სიღრმეებს და ნაპირთან თითქმის შეაჩერა შემდგომი ზრდა. XIX საუკუნის ბოლოს, საპორტო მოლის აშენების შედეგად გადაიკეტა ნაპირგასწვრივი ნაკადი და მნიშვნელოვნად დაჩქარდა ბათუმის კონცხის შემდგომი ზრდა, რის შედეგად 200 მეტრით გაიზარდა ქალაქის მიმდებარე სანაპიროს მონაკვეთი. სამწუხაროდ გარკვეულ მონაკვეთზე შეიქმნა დეფეციტი და სანაპიროს საფრთხე დაემუქრა (ნახ.1.)

მდ. ჭოროხი 2010-2012 წლიდან თურქეთში მშენებარე დერინერის (ზღვიდან დაშორება 70 კმ), ბოჩხას (ზღვიდან 40კმ) და მურატლის (ზღვიდან 30კმ) წყალსაცავებით რეგულირდება. ამას ემატება (საქართველოს ფარგლებში-26 კმ) მყარი მასალის ამოღება მდინარიდან და შუახევის წყალსაცავი, რომელიც საქართველოს მხარეს მდებარეობს. ამ წყალსაცავების მშენებლობამ მდ. ჭოროხის და მისი შენაკადები (აჭარისწყალი და მაჭახელა) ნატანის ზღვამდე გატანას თითქმის მთლიანად გამორიცხავს რაც



ნახ.1

საბოლოოდ ბათუმის სანაპიროზე უარყოფითად აისახება. საბოლოოდ საფრთხე დაემუქრება როგორც აეროპორტის ასაფრენ ბილიკს ისე ცენტრალურ გზის მონაკვეთს და ახალ ბულვარს. ამიტომ აუცილებელია, რომ ადგილობრივმა მთავრობამ ამ საფრთხის თავიდან ასაცილებლად ყველა ზომებს მიმართოს და ნაპირდაცვის სპეციალისტების დახმარებით მოხერხდეს ამ პრობლემის თავიდან აცილება.

ასევე აღსანიშნავია, რომ ჰოლანდიელი მეცნიერთა პროექტით და რეკომენდაციით, ადლიის სანაპიროები ლოდების დამცავი ფენებით დაიფარა, ხოლო ზღვისპირა ბულვარის რეკრეაციული პლაჟები, ინარჩუნებს პირვანდელ მდგომარეობას. სანაპირო ზონა, მიუხედავად ძლიერი შტორმებისა და გლობალური დათბობის ფონზე მაინც ახერხებს და არ ხდება მასიური სანაპიროს გადარეცხვა, თუმცა ფაქტია, რომ უშუალოდ ბათუმის კონცხი 2017-2021 წლების მონაცემებით, ჯერ კიდევ იღებს საკმარის ნატანს, მიუხედავად მზარდი დეფეციტისა.

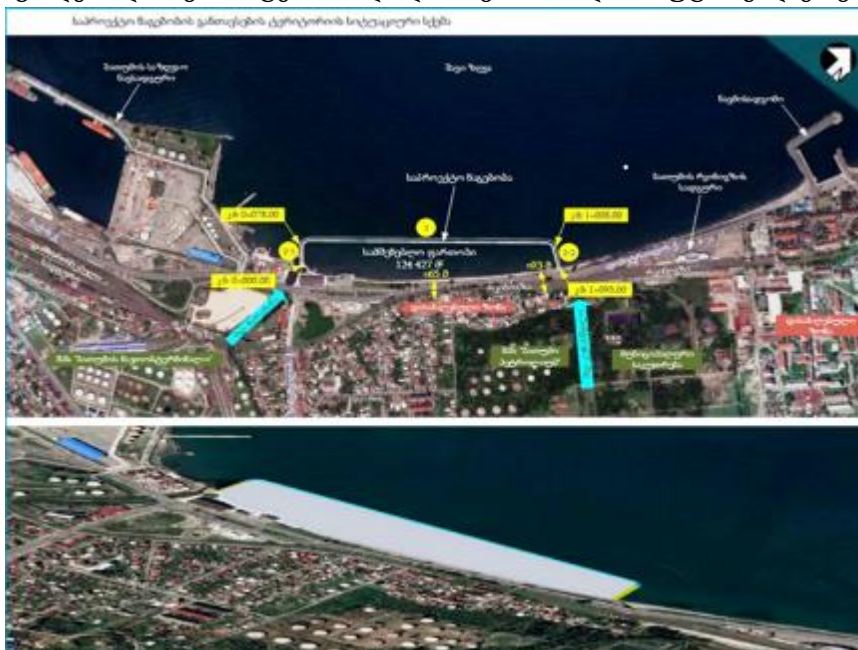
საჭიროა მთავრობამ მეტი ყურადღება გამოიჩინოს ვინაიდან 2025-2030 წლებისთვის ბათუმის სანაპიროზე ნატანის მზარდი დეფეციტი შეიქმნება და მოხდეს ზღვისთვის აუცილებელი საშენი მასალის ხელოვნურად შევსება.

უნდა აღინიშნოს, რომ 1998-2000 წლებში მსოფლიო ბანკის პროექტის ფარგლებში ჰოლანდიელ სპეციალისტებთან ერთად, კვლევები ჩატარდა და ნაპირდაცვითი ღონისძიებების რამდენიმე სცენარი მომზადდა. დასკვნით ნაწილში აღნიშნული იყო რომ 2005 წლისთვის მდ. ჭოროხის მიერ ზღვაში გამოტანილი პლაჟშემქმნელი ნატანის მოცილობა 65 %-ით შემცირდა, ხოლო 2015 წელს -95%-ით.

ქართველებთან ერთად უცხოელმა სპეციალისტებმაც ერთხმად აღნიშნეს, რომ წარეცხვის “მინიმალური“ სცენარის არსებობის შემთხვევაშიც პროგნოზები საგანგაშოა. სანაპიროს დასაცავად უცხოელმა ექსპერტებმა ნატანის დეფეციტის გამოწვეული მოსალოდნელი ზარალის აუდიტი ჩატარეს. გაირკვა, რომ თუ ზომებს სახელმწიფო არ მიიღებს ზარალი 2025 წლისთვის, 95 მლნ. აშშ დოლარზე მეტი იქნება. შესაძლოა მდ. ჭოროხის შესართავის- ბათუმის კონცხზე მოსალოდნელი ზღვის მიერ წარეცხილი ტერიტორიების ფართობმა 95-100 ჰა მიაღწიოს.

სამწუხაროა, რომ თავის დროზე არ მოხდა მხარეებს შორის შეთანხმება და არ იყო გათვალისწინებული დეფეციტის ამოფხვრის რაიმე გზები საქართველოსა და თურქეთის მხარეებს შორის. ამას ემატება ძველი ქართული ეკლესია და ციხე-სიმაგრეების დატბორვა ამ წყალსაცავებში. სამწუხაროდ კარგად ვერ გავიაზრეთ არსებული პრობლემა და საფრთხეები. ეჭვგარეშეა რომ კაშხლების მშენებლობის ამ მასშტაბით განხორციელებამ, პრაქტიკულად გამოიწვია მყარი ნატანის შეწყვეტა, რასაც უმძიმესი ეკოლოგიური შედეგები მოჰყვება აჭარის სანაპიროსთვის.

პრობლემის გადასაჭრელად სახელმწიფოს და კერძო ინვესტორების ერთობრივი მუშობა აუცილებელია. თანამედროვე მიდგომებთან დაკავშირებით მაგალითად მოყვანილი მაქვს „ამბასადორი ბათუმი აილენდის“ პროექტი რომელის ითვალისწინებს ორი ხელოვნური ნახევარკუნძულის და კუმბულის მშენებლობას. პროექტს წინ უძღვოდა კვლევები საერთაშორისო მეცნიერების და ექსპერტების, კომპანიების, მიერ წარმოებული დაკვირვებები და ანალიზები. მშენებლობისთვის შერჩეულია ბათუმის შესასვლელი სადაც ხდებოდა ნავთობ ტერმინალიდან ნავთობის და მახუტის გადაქაჩვა. (ნახ. 2,3).



ნახ. 2,3
103

პირველ ეტაპზე იგეგმება „ნაპირდამცავი ნაგებობების მშენებლობა , რომლის ფარგლებში მოეწყობა 12,5 ჰექტარი ფართობი, რაც საბოლოოდ ორი ხელოვნური ნახევარკუნძულის და კუნძულის შექმნას და მასზე ინფრასტრუქტურის მოწყობას ითვალისწინებს. მოეწყობა ულტრათანამედროვე გასართობ-გამაჯანსაღებელი, სპორტული და საგანმანათლებლო, კომერციული საცხოვრებელი სახლები, მაღალი კლასისის სასტუმრო კომპლექსები საზოგადოებრივი პლაჟები, აქტიური და პასიური დასასვენებელი კუთხეებით.

მშენებლობის საერთო ფართობია 105 ჰექტარია და მშენებლობის ვადა 7 დან- 10 წლამდე. მნიშვნელოვანია რომ მშენებლობის პროცესში დასაქმდება 2000 ადგილობრივი მოსახლეობა. ქვა -ლორდის ძირითადი ტრანსპორტირება მოხდება ხალას, ახალშენის და ქედის კარიერებიდან. ასევე მდ.ბარცხანასა და მდ. კუბისწყლის აკვატორიაში არსებული ლიცენზირებული საბადოები. სამშენებლო პროცესში მონაწილეობენ ქართველი და უცხოელი ინჟინრები და ჰიდროლოგები. იგეგმება სტუდენტების ჩართვა რომ მოხდეს ახალგაზრდა თაობების დაინტერესება და გადამზადება.

დასკვნა. კაშხლების მშენებლობა იწვევს მდინარის ნატანის ბუნებრივი რეჟიმის დარღვევას ნებისმიერ მდინარეზე და აჭარის სანაპირო ზოლიც ამ საფრთხის წინაშე აღმოჩნდება მომავლში. ამრიგად, კერძო ინვესტორის კონკრეტულ მონაკვეთზე განხორციელებულმა კვლევებმა და სანაპიროს მოკლე მონაკვეთში ჩატარებულმა სამუშაოებმა შესაძლოა საფუძველი ჩაუყაროს ახალ თანამედროვე მიდგომებს, რაც ჩვენი როგორც საზღვაო ქვეყნისთვის მნიშვნელოვანი და აუცილებელია.

ლიტერატურა

- [1] მეტრეველი გ., მაჭავარიანი ლ., გულაშვილი ზ., წყალსაცავების პოზიტივები და ნეგატივები. // წიგნი, თბილისი, 2022, 122-123 გვ.
- [2] რუსო გ. ბათუმის კონცხის თანამედროვე მდგომარეობა და განვითარების პროგნოზები. // თბ., 2007.
- [3] გიგინეიშვილი გ., მეტრეველი გ., გზირიშვილი თ., ბერიტაშვილი ბ. კლიმატის თანამედროვე გლობალური დათბობის გავლენა საქართველოს ზღვის სანაპირო ზონაზე. // გაერო. კლიმატის ცვლილებების ჩარჩო კონვენციის ეროვნული სააგენტო, თსუ. საქართველოს გეოგრაფიული საზოგადოება, თბ. 1999, 74 გვ.

THE CHANGES CAUSED BY THE SEDIMENT OF THE CHOROKHI RIVER AND THE MODERN APPROACHES TO THE COASTLINE OF ADJARA

Makalathia I., Bilashvili K., Kereselidze D.

*Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
Irma.makalathia@ens.tsu.edu.ge*

Abstract. Georgia is a maritime country and it is important to thoroughly analyze the dynamic processes in the eastern coastline. In particular, the accumulation strip of the coast of Adjara is almost completely covered by the river. It is formed by the alluvial sediment of Chorokhi. The circumstance that the river The complete blocking of Chorokhi sediment will definitely lead to negative consequences, it is necessary to avoid it in the future and to be able to manage the integrated coastline and create the concept of sustainable development in general.

Key words: Black Sea, sustainability, ecology.

**2023 წლის რაჭა-ლეჩხუმის და ქვემო სვანეთის რეგიონის ბუნებრივი წყლების ჰიდროქიმიური
შეღებნილობის შესწავლა**

შავლიაშვილი ლ., კუჭავა გ., შუბლაძე ე., ტაბატაძე მ., ბუაჩიძე ნ.

ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, სტუ, თბილისი, საქართველო
Shavliashvilali09@gmail.com

ანოტაცია. ნაშრომში განხილულია 2023 წლის რაჭა-ლეჩხუმი და ქვემო სვანეთის რეგიონის დარიშხანის გადამამუშავებელი საწარმოების მიმდებარე ტერიტორიებზე არსებული მდინარეების (ლუხუნი და ცხენისწყალი), არტეზიული და წყაროს წყლების ჰიდროქიმიური დახასიათება. ბუნებრივი წყლის სინჯებში, მდინარის შეწონილი ნაწილაკებისა და ფსკერული ნალექების ნიმუშებში განისაზღვრა ჰიდროქიმიური მაჩვენებლები და დარიშხანის შემცველობა. გამოვლენილია სხვადასხვა ინგრედიენტებით დაბინძურებული მდინარეები და არტეზიული წყლები. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია დასკვნების სახით. ანალიზები ჩატარდა თანამედროვე მეთოდებისა და აპარატურის გამოყენებით, რომლებიც შეესაბამება ევროპულ სტანდარტებს.

მდინარის წყლებში, როგორც ფონური, ისე დაბინძურებულ ადგილებიდან აღებულ სინჯებში არც ერთი განსაზღვრული კომპონენტი არ აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას (ზდკ) და ნორმის ფარგლებშია. მდინარეების წყლის მინერალიზაცია მიეკუთვნება მცირედ და საშუალოდ მინერალიზირებული წყლების კატეგორიას;

არტეზიული და სასმელი წყაროს წყლები მიეკუთვნება ზომიერი მინერალიზაციის მქონე წყლებს; განსაკუთრებით გამოირჩევა მყავე წყაროს წყალი, სადაც აღინიშნება წყლის სიხისტის (18.57 მგ.ექვ/ლ) მატება ზდკ-თან მიმართებაში და მისი მინერალიზაცია მიეკუთვნება მაღალ მინერალიზირებული წყლების კატეგორიას; დაბინძურებული ინგრედიენტებიდან შეიძლება გამოვყოთ აზოტის მინერალური ფორმებიდან ამონიუმის იონები, რომელთა შემცველობა აჭარბებს ზდკ-ს დაახლოებით -1.2-ჯერ, ნიტრიტების შემცველობა კი - 132 -ჯერ, ნიტრატების და ფოსფატების რაოდენობა არც ერთ შემთხვევაში არ აღემატება ზდკ-ს;

ზედაპირულ წყლებში (მდინარე ლუხუნი და ცხენისწყალი) დარიშხანის საშიშროების ინდექსი 1-ზე ნაკლებია ($HQ_{sw} < 1$) და მათ საფრთხე არ ემუქრებათ;

არტეზიულ და სასმელ წყლებში დარიშხანის საშიშროების ინდექსი 1-ზე მეტია ($HQ_{sw} > 1$), ეს წყლები რისკის ქვეშ არიან;

მდინარეების შეწონილ ნაწილაკებსა და ფსკერულ ნალექებში აღინიშნება დარიშხანის მაღალი კონცენტრაციები.

საკვანძო სიტყვები: მდინარეები და არტეზიული წყლები, ჰიდროქიმია, დარიშხანი, დაბინძურება.

შესავალი

რაჭა-ლეჩხუმისა და ქვემო სვანეთის რეგიონში ათეული წლების მანძილზე მიმდინარეობდა დარიშხანის მადნების მოპოვება, გადამამუშავება და დარიშხანშემცველი ნაერთების წარმოება სოფლებში ცანა და ურავი.

1993 წელს ორივე ქარხანამ ფუნქციონირება შეწყვეტა. დღეისათვის ორივე საბადო დაკონსერვებულია და დარიშხანის წარმოება არ ხდება. პრობლემას წარმოადგენს დარიშხანშემცველი ნარჩენები და მიმდებარე ტერიტორიები, სახნავ-სათესი ნიადაგები. დღემდე სოფლებში ურავი და ცანა სამთოქიმიური ქარხნის ტერიტორიაზე ინახება საბჭოთა პერიოდიდან შემორჩენილი დარიშხანის წარმოების შედეგად დარჩენილი ტოქსიკური ნარჩენების (4-9% თეთრი დარიშხანის შემცველი 130000 ტონაზე მეტი) დიდი რაოდენობა,

რომელიც არ იყო უსაფრთხოდ განთავსებული [1,2]. წლების მანძილზე, დარიშხანის ნარჩენების გავრცელების ძირითადი მექანიზმი დაკავშირებულია ატმოსფერული ნალექებით და ადიდებული მდინარეების წყლით ტოქსიკური ნარჩენების გამორეცხვასა და გადატანასთან, რაც ქმნის მდინარეებში, გრუნტის წყლებსა და ნიადაგებში ეკოლოგიური კატასტროფის მაღალ რისკს [3-5].

დარიშხანი დედამიწის ქერქის ბუნებრივი კომპონენტია და გავრცელებულია ნებისმიერ ეკოსისტემაში. იგი ბუნებაში წარმოდგენილია ორგანული და არაორგანული ფორმით, ეს უკანასკნელი კი ძალიან ტოქსიკურია [6]. მიუხედავად იმისა, რომ დარიშხანის ორგანიზმში მოხვედრის გზები შეიძლება იყოს კანი, სასუნთქი გზები, ის მაინც ძირითადად ადამიანის ორგანიზმში საკვებიდან და სასმელი წყლიდან ხვდება. ორგანული დარიშხანის სახეობები ყველაზე ხშირად არის ზღვის პროდუქტებში, ხოლო ხმელეთის პროდუქტებში ძირითადად 3-5 ვალენტიანი დარიშხანის არაორგანული ფორმებია. აქედან გამომდინარე, დარიშხანი კვებით ჯაჭვში ერთვება ძირითადად დაბინძურებული ნიადაგიდან და წყლიდან [3-5,7,8].

ამასთან ერთად, მდინარეები ლუბუნი და ცხენისწყალი წარმოადგენს მდ.რიონის შენაკადს, რომელიც არის ქ.ქუთაისის სასმელი წყლის ძირითადი წყარო, ასევე გამოიყენებია სარწყავად. ამავ დროს, ეს რეგიონი საქართველოს ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ტურისტული რეგიონია, რაც მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს კატასტროფის მასშტაბებს.

საკვლევი ზონა და მეთოდები

2023 წლის 10-20 მაისს რაჭა-ლეჩხუმი და ქვემო სვანეთის რეგიონში ჩატარდა ექსპედიცია, რომლის დროსაც აღებული იყო საკვლევი მდინარეების (ცხენისწყალი, ლუბუნი) სინჯები ფონური და დაბინძურების წყაროს ქვემოთ, ასევე სასმელი და წყაროს წყლების სინჯები და განისაზღვრა მათი ჰიდროქიმიური ანალიზები. აღებულია აგრეთვე მდ.ცხენისწყლისა და მდ.ლუბუნის შეწონილი ნაწილაკები და ფსკერული ნალექები დარიშხანის განსაზღვრისათვის.

აღებულია ბუნებრივი წყლის სინჯები შემდეგ წერტილებში:

1. მდ.ლუბუნი, ურავი ზედა X-360228 Y-4722971;
2. მდ.ლუბუნი (სარკოფაგის ქვევით 100 მ-ში) X-358975 Y-4721438;
3. მდ.ცხენისწყალი ლენტეხის ზევით X-345157 Y-4741069;
4. მდ.ცხენისწყალი, ლენტეხის ქვევით X-31 39 88 Y-4737237;
5. შაორის წყალსაცავი X-340808 Y-4699495;
6. რიონი, უწერა X-380725 Y-4721383;
7. წყაროს წყალი ურავი 2-ის ტერიტორიაზე (150-200 მ-ის დაცილებით) X-359777 Y-4722474;
8. წყაროს წყალი მთიდან ცანას მიმართულებით X-316809 Y-4741183;
9. „-----“, 50 მ-ის დაცილებით მე-8 პუნქტიდან;
10. „-----“, 50 მ-ის დაცილებით მე-9 პუნქტიდან;
11. მჟავე წყალი (წყარო) ლენტეხის ზევით X-313288 Y-4741009.

აღებულ წყლის სინჯებში განისაზღვრა: ჰიდროქიმიური პარამეტრები, კერძოდ: pH, ელექტროგამტარობა, ბიოგენური ნივთიერებები - NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , ძირითადი იონები, მინერალიზაცია, ჟბმ, დარიშხანის საერთო ფორმის შემცველობა [9].

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

1. იონ-ქრომატოგრაფული მეთოდი - IC-1000;
2. სპექტროფოტომეტრული მეთოდი - SPECORD 205; ISO 7150-1: 2010;
3. პლაზმურ-ემისიური სპექტრომეტრი - ICP-OES; Epa method 200.8;
4. pH-მეტრი - Milwaukee-Mi 150.

საშიშროების ინდექსის გამოსათვლელად გამოყენებული იყო შემდეგი ფორმულა [10]:

$$HQ = MC / EQS_{sw,DW}$$

სადაც, HQ - საშიშროების ინდექსი;

MC - გაზომილი კონცენტრაცია;

$EQS_{sw,DW}$ - გარემოს ხარისხის სტანდარტები ზედაპირული და სასმელი წყლებისათვის.

იმ შემთხვევაში, თუ HQ >1.0, დარიშხანი ითვლება პოტენციურ რისკად წყლის გარემოსთვის და აქედან გამომდინარე, მოსახლეობის ჯანმრთელობისათვის.

გამოყენებული იქნება შემდეგი EQS-ის ზღვრული სიდიდეები:

- ზედაპირული წყალი: 0.05 მგ/ლ (მაქსიმალური დასაშვები კონცენტრაციები საქართველოს ზედაპირული წყლების დაბინძურებისაგან დაცვის ტექნიკური რეგლამენტის დამტკიცების შესახებ, დადგენილება № 425) [11];

- სასმელი წყალი: 0.01 მგ/ლ (მაქსიმალური დასაშვები კონცენტრაციები საქართველოში სასმელი წყლის დაბინძურებისაგან დაცვის ტექნიკური რეგლამენტის დამტკიცების შესახებ, დადგენილება № 58) [12];

შედეგების განხილვა

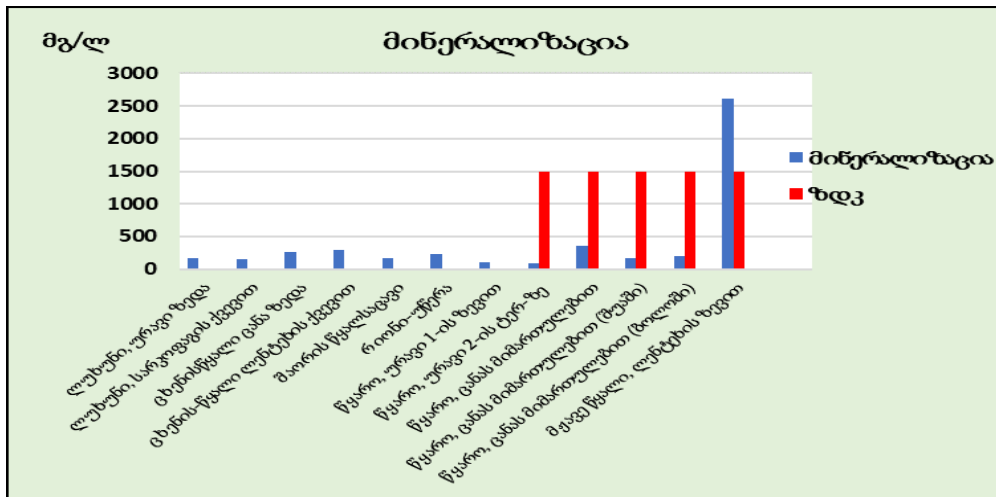
ცხრ. 1 და 2 მოცემულია ბუნებრივი წყლის ნიმუშების ჰიდროქიმიური ანალიზის შედეგები.

როგორც ცხრ.1-დან ჩანს, მდინარის წყლებში, როგორც ფონური, ისე დაბინძურებული ადგილებიდან აღებულ სინჯებში არც ერთი განსაზღვრული კომპონენტი, კერძოდ, ბიოგენური ნაერთები, ძირითადი კათიონები და ანიონები და სხვა არ აღემატება ზღვ-ს და ნორმის ფარგლებშია. მდ.ლუხუნის წყლის მინერალიზაცია შეადგენს 166.2 მგ/ლ-მდ. ლუხუნი ურავის ზედა წერტილში და 158.1 მგ/ლ-ლუხუნი(სარკოფაგის ქვევით 100მ დაცილებით); მდ.ცხენისწყლის-262.5-292.2 შესაბამისად; მდ. რიონის-231.4 და შაორის წყალსაცავის-168.8 მგ/ლ ფარგლებში, რაც მიანიშნებს იმაზე, რომ აღნიშნული წყლები მიეკუთვნებიან მცირედ (< 200 მგ/ლ) და საშუალოდ (200-500 მგ/ლ) მინერალიზირებული წყლების კატეგორიას (ნახ. 1) [13].

ცხრილი 1. საკვლევი მდინარეების ჰიდროქიმიური ანალიზის შედეგები, მაისი, 2023

#	ინგრედიენტები	ლუხუნი ურავი ზედა	ლუხუნი (სარკოფაგის ქვევით 100 მ დაცილებით)	ცხენისწყალი ცანა ზედა	ცხენისწყალი ლენტეხის ქვევით	შაორის წყალსაცავი	რიონი-უწერა	ზღვ *
		X-360228 Y-4722971	X-358975 Y-4721438	X-345623 Y-4741481	X-313988 Y-4737237	X-3340808 Y-4699495	X-380725 Y-4721383	
1	pH	7.5	8.2	7.3	7.5	8.1	8.2	6.5-8.5
2	ელექტროგამტარობა, μ sms/cm	210	160	280	300	172	230	
3	ჯბმ, მგ/ლ	1.75	1.25	2.10	2.00	1.97	1.15	6.0
4	სიხისტე, მგ.ექვ/ლ	1.60	1.78	3.04	2.72	2.01	2.80	
5	ამონიუმი, მგN/ლ	0.358	0.107	0.130	0.202	0.086	0.090	0.39
6	ნიტრიტები, მგ/ლ	0.099	0.156	0.138	0.154	0.160	0.206	3.3
7	ნიტრატები, მგ/ლ	0.662	3.702	0.090	0.080	0.217	2.970	45
8	ფოსფატები, მგ/ლ	0.060	0.187	0.018	0.027	0.251	0.137	3.5
9	სულფატები, მგ/ლ	20.4	13.14	12.0	19.4	12.88	22.03	500
10	ქლორიდები, მგ/ლ	4.43	6.40	4.05	2.21	1.84	3.56	350
11	ბრომი, მგ/ლ	0.107	0.152	0.137	0.099	0.125	0.210	
12	ფტორი, მგ/ლ	0.121	0.160	0.082	0.115	0.020	0.033	
13	ჰიდროკარბონატები, მგ/ლ	98.2	96.38	183.0	167.8	124.44	147.62	
14	კალიუმი, მგ/ლ	13.8	7.5	8.0	11.8	5.5	5.5	
15	ნატრიუმი, მგ/ლ							
16	კალციუმი, მგ/ლ	20.8	22.87	46.7	31.1	38.72	38.72	
17	მაგნიუმი, მგ/ლ	6.9	7.84	8.6	14.3	10.53	10.58	
18	მინერალიზაცია, მგ/ლ	166.2	158.14	262.5	292.2	168.81	231.42	
19	დარიშხანი-As	0.0020	0.0070	0.0068	0.0054	0.0025	0.0091	0.05

ზღვ* - ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია ზედაპირული წყლის ტექნიკური რეგლამენტის შესაბამისად (საქართველოს მთავრობის დადგენილება №425, 2013 წლის 31 დეკემბერი, ქ. თბილისი) [11]



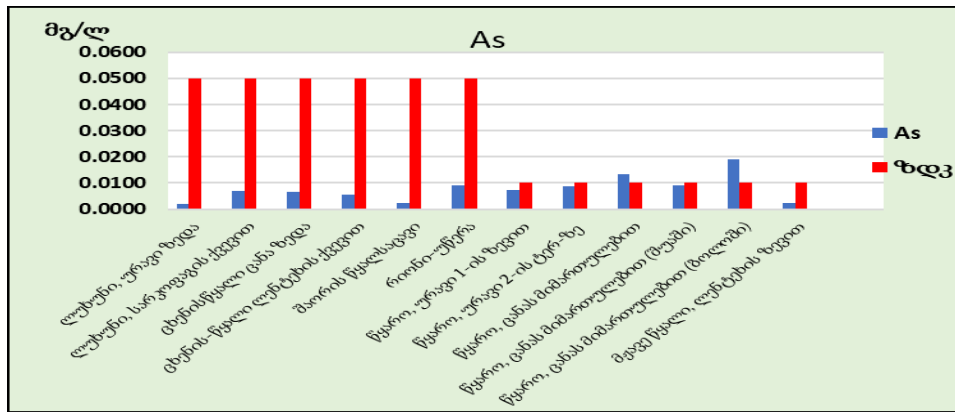
ნახ. 1. საკვლევი მდინარეების და არტეზიული წყლების მინერალიზაცია, მაისი, 2023.

განსხვავებული სურათია არტეზიული და სასმელი წყაროს წყლების ფიზიკურ-ქიმიური და ჰიდროქიმიური მაჩვენებლების მიხედვით (ცხრ. 2). განსაკუთრებით გამოირჩევა მუჯე წყაროს წყალი, სადაც აღინიშნება წყლის სიხისტის (18.44 მგ.ეკვ/ლ) და ქლორიდების (Cl⁻ - 376.84 მგ/ლ) მატება ზღვ-თან მიმართებაში. ჰიდროკარბონატების შემცველობა შეადგენს - 1526.2, Ca⁺⁺ - 291.71, Na⁺⁺+K⁺ - 333.88 და Mg⁺⁺- 47.26 მგ/ლ.

მნიშვნელოვან კომპონენტებს წარმოადგენენ ბიოგენური ელემენტები (აზოტი, ფოსფორი), რომლებიც ასახავენ ზედაპირული წყლების დაბინძურების ხარისხს და არიან ანთროპოგენული დატვირთვის ინდიკატორები. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მათი ცალკეული ფორმების (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻) შემცველობების კონტროლი წყალში, რომლებიც ახასიათებენ ისეთი პროცესების გაძლიერებას, როგორცაა ფეკალური დაბინძურება, ევტროფიკაცია, გამოწვეული კომუნალური და სასოფლო-სამეურნეო ჩამდინარე წყლების ჩაშვებით. აზოტის მინერალური ფორმებიდან ამონიუმის იონის კონცენტრაცია აღმატება ზღვ-ს წყაროს წყალი ურაგი -1-ის ზევით და შეადგენს 0.44 მგ/ლ (1.1 ზღვ). აღმოჩენილია ნიტრიტული (11.70/3.6 ზღვ) ფორმის მაღალი შემცველობა მუჯე წყალში. ამონიუმის და ფოსფატების მნიშვნელობები არ აღემატება შესაბამის ზღვ-ს. ამ წყაროს მინერალიზაცია შეადგენს 2612.22 მგ/ლ და მიეკუთვნება მაღალი მინერალიზაციის მქონე წყლებს (>1000 მგ/ლ) [13]. ხოლო წყაროს წყალი მთიდან, ცანას მიმართულებით, ეკუთვნის საშუალოდ მინერალიზირებულულ (172.18 -349.56 მგ/ლ) კატეგორიას (ნახ. 1).

როგორც მიღებული შედეგებიდან ჩანს (ცხრ. 1, ნახ. 2), მდინარის წყლებში (მდ. ლუხუნო და მდ. ცხენისწყალი) გამოვლენილია დარიშხანის კონცენტრაციები, როგორც ფონური, ისე დაბინძურების ქვემოთ აღებულ სინჯებში, თუმცა ისინი არც ერთ შემთხვევაში არ აღემატება ზღვ-ს. უნდა აღინიშნოს ის ფაქტი, რომ ორივე მდინარის სინჯები აღების მომენტში იყო ადიდებული და მღვრიე.

განსხვავებული სურათია წყაროს წყლებიდან აღებულ სინჯებში (ცხრ. 2, ნახ. 2) წყაროს წყალში, რომელიც აღებულია მთიდან ცანას მიმართულებით პირველ წერტილში დარიშხანის კონცენტრაცია შეადგენს 0.0133 მგ/ლ-ზე და მისი თანაფარდობა ზღვ-თან - 1.3, მეორე წერტილში - თითქმის ზღვარზეა და მესამეში კი - 0.0190 მგ/ლ, რაც 1.9 -ჯერ აღემატება ზღვ-ს. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ეს წყალი ინტენსიურად გამოიყენება დასალევად მოსახლეობის მიერ. სხვა დანარჩენ შემთხვევაში დარიშხანის კონცენტრაცია ნორმის ფარგლებშია.



ნახ. 2. საკვლევ მდინარეებსა და არტეზიული წყლებში As-ის შემცველობა, მაისი, 2023.

ცხრილი 2. არტეზიული და სასმელი წყლების ჰიდროქიმიური ანალიზის შედეგები, მაისი, 2023

#	ინგრედიენტები	წყაროს წყალი ურავე 1-ის ზედა	წყაროს წყალი ურავე 2-ის ტერი-ტორიაზე (150-200 მ დაცილებით)	წყაროს წყალი მთიდან, ცანას მიმართულებით	წყაროს წყალი მთიდან, ცანას მიმართულებით (შუაში)	წყაროს წყალი მთიდან, ცანას მიმართულებით (ბოლოში)	მეხვე წყალი (წყარო) ლენტეხის ზედა	ზღვ*
			X-359777 Y-4722474	X-316809 Y-4741183			X-313288 Y-4741009	
1	pH	7.9	7.8	8.2	7.9	8.1	8.0	6-9
2	ელექტროკონდუქტურობა, $\mu\text{S}/\text{cm}$	105	85	350	170	190	2558	
3	ჟმზ, მგ/ლ	0.98	1.45	2.25	0.75	1.35	0.78	
4	სიხისტე, მგ.ეკვ/ლ	1.30	1.03	4.49	1.93	2.07	18.44	7-10
5	ამონიუმი, მგN/ლ	0.44	0.053	0.058	0.059	0.054	0.212	0.39
6	ნიტრიტები, მგ/ლ	0.021	0.095	0.216	0.052	0.126	11.70	0.2
7	ნიტრატები, მგ/ლ	1.072	0.320	0.237	1.304	1.202	0.084	50
8	ფოსფატები, მგ/ლ	0.085	0.142	0.153	0.112	0.241	0.094	3.5
9	სულფატები, მგ/ლ	2.94	2.86	78.89	4.22	12.28	24.40	250
10	ქლორიდები, მგ/ლ	3.77	2.29	2.27	3.38	3.30	376.84	250
11	ბრომი, მგ/ლ	0.120	0.142	0.381	0.210	0.059	0.910	
12	ფტორი, მგ/ლ	0.111	0.016	0.200	0.023	0.060	0.042	0.7
13	ჰიდროკარბონატები, მგ/ლ	75.64	59.78	180.56	124.44	136.64	1526.22	
14	კალიუმი, მგ/ლ	3.08	2.05	4.5	6.0	4.0	333.88	
15	ნატრიუმი, მგ/ლ							
16	კალციუმი, მგ/ლ	13.17	10.61	71.81	26.63	26.51	291.71	
7	მაგნიუმი, მგ/ლ	7.85	6.04	10.99	7.33	9.07	47.26	
18	მინერალიზაცია, მგ/ლ	107.62	84.03	349.56	172.18	192.01	2612.22	1000-1500
19	დარიშხანი-As	0.0072	0.0086	0.0133	0.0092	0.0190	0.0022	0.01

ზღვ* - ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტის შესაბამისად (საქართველოს მთავრობის დადგენილება №58 2014 წლის 15 იანვარი ქ. თბილისი)[12].

ცხრ. 3-ში მოცემულია მდ.ცხენისწყლისა და მდ.ლუხუნის შეწონილ ნაწილაკებსა და ფსკერულ ნალექებში დარიშხანის კონცენტრაციები.

ცხრილი 3. მდ.ლუხუნისა და მდ.ცხენისწყლის შეწონილ ნაწილაკებსა და ფსკერულ ნალექებში დარიშხანის შემცველობები, მაისი, 2023.

#	სინჯის ადგილის ადგილი	კოორდინატები	ანალიზის შედეგი მგ/კგ
შეწონილი ნაწილაკები			
1	მდ.ლუხუნი-სარკოფაგის ქვემოთ ~100 მ	X-358975 Y-4721438	20.2
2	მდ. ცხენისწყალი - ლენტეხის ქვემოთ	X-313988 Y-4737237	12.5
ფსკერული ნალექები			
1	მდ.ლუხუნი-სარკოფაგის ქვემოთ ~100 მ	X-358975 Y-4721438	39.2
2	მდ. ცხენისწყალი - ლენტეხის ქვემოთ	X-313988 Y-4737237	32.8

როგორც ცხრილი 3-დან ჩანს, დარიშხანის შემცველობა მდ. ლუხუნის შეწონილ ნაწილაკებში შეადგენს 20.2, მდ.ცხენისწყალში კი - 12.5 მგ/კგ; ხოლო ფსკერულ ნალექებში საკვლევ მდინარეებში შესაბამისად შეადგენს 39.2 და 32.8 მგ/კგ.

ხშირად დარიშხანი მდინარის წყალში არ ფიქსირდება, მაგრამ ის არის შეწონილ ნაწილაკებსა და ფსკერულ ნალექებში. დარიშხანის შემცველობის გაზრდა ფსკერულ ნალექებში მდინარის წყალთან შედარებით, შეიძლება აიხსნას დარიშხანშემცველი მადნების მაღალი კუთრი წონით: 3.4 – 6.2 გ/სმ³ და მისი დალექვისადმი მიდრეკილებით, ამიტომ მიზანშეწონილია მათში დარიშხანის კონცენტრაციის განსაზღვრა [2].

დასკვნა

განხილულია 2023 წლის რაჭა-ლეჩხუმი და ქვემო სვანეთის რეგიონის დარიშხანის გადამამუშავებელი საწარმოების მიმდებარე ტერიტორიებზე არსებული მდინარეების (ლუხუნი და ცხენისწყალი), არტეზიული და წყაროს წყლების ჰიდროქიმიური დახასიათება, აგრეთვე დარიშხანით დაბინძურების კვლევის მიღებული შედეგები; გამოვლენილია სხვადასხვა ინგრედიენტებით დაბინძურებული მდინარეები და არტეზიული წყლები.

- მდინარის წყლებში, როგორც ფონური, ისე დაბინძურებულ ადგილებიდან აღებულ სინჯებში არც ერთი განსაზღვრული კომპონენტი არ აღემატება ზდკ-ს და ნორმის ფარგლებშია. მდინარეების წყლის მინერალიზაცია მიეკუთვნება მცირედ და საშუალოდ მინერალიზირებული წყლების კატეგორიას;
- არტეზიული და სასმელი წყაროს წყლები მიეკუთვნება ზომიერი მინერალიზაციის მქონე წყლებს; განსაკუთრებით გამოირჩევა მჭავე წყაროს წყალი, სადაც აღინიშნება წყლის სიხისტის (18.57 მგ.ექვ/ლ) მატება ზდკ-თან მიმართებაში; დამაბინძურებელი ინგრედიენტებიდან შეიძლება გამოვყოს აზოტის მინერალური ფორმებიდან ამონიუმის იონები, რომელთა შემცველობა აჭარბებს ზდკ-ს დაახლოებით -1.2-ჯერ, ნიტრატების შემცველობა კი - 132- ჯერ, ნიტრატების და ფოსფატების რაოდენობა არც ერთ შემთხვევაში არ აღემატება ზდკ-ს;
- ზედაპირულ წყლებში (მდინარე ლუხუნი და ცხენისწყალი) დარიშხანის საშიშროების ინდექსი 1-ზე ნაკლებია ($HQ_{sw} < 1$) და მათ საფრთხე არ ემუქრებათ;

- არტეზიულ და სასმელ წყლებში დარიშხანის საშიშროების ინდექსი 1-ზე მეტია ($HQ_{dw} > 1$), ეს წყლები რისკის ქვეშ არიან;
- მდინარეების შეწონილ ნაწილაკებსა და ფსკერულ ნალექებში აღინიშნება დარიშხანის მაღალი კონცენტრაციები, რაც შეიძლება აიხსნას დარიშხანმემცველი მადნების მაღალი კუთრი წონით და მისი დალევისადმი მიდრეკილებით.

მადლიერების გამოხატვა. კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის (გრანტის № FR-21-427) ხელშეწყობით.

ლიტერატურა

- [1] ალექსიძე გ., ლოლიშვილი რ. საქართველოს გარემოს დაბინძურების ძირითადი ასპექტები. // საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის მასალები „ეკოლოგიურად სუფთა პროდუქტების წარმოების თანამედროვე ტექნოლოგიები სოფლის მეურნეობის მდგრადი განვითარებისათვის“, თბილისი, 2016, გვ.33-45.
- [2] ზაგრატიონი ნ. დარიშხანის სამრეწველო ნარჩენების განთავსების პირობების შესწავლა და მათი გავრცელების არეალის ეკოლოგიური შეფასება. // ავტორეფერატი, თბილისი, 2016.
- [3] Shavliashvili L., Bakradze E., Arabidze M., Kuchava G. Arsenic pollution study of the rivers and soils in some of the regions of Georgia. // International Journal of Current Research Vol.9, Iss. 02, February 2017, pp. 47002-47008.
- [4] ლ.შავლიაშვილი, მ.არაბიძე, ე.ბაქრაძე, გ.კუჭავა, მ.ტაბატაძე - ამბროლაურის მუნიციპალიტეტის ნიადაგებში დარიშხანის შემცველობის ქიმიური კვლევა - საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, ტ.129, გვ.84-90, 2020.
- [5] Shavliashvili L., Arabidze M., Bakradze E., Kuchava G., Kordzakhia G. Contamination of soils by arsenic in Ambrolauri municipality and its impact on the health of the population. // European Geographical Studies, 7(1), 2020, pp.48-56. DOI: 10.13187/egs.
- [6] Arsenic and Arsenic Compounds. // IARC Monographs – 100 C, (IARC, 1980, 1987, 2004). <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100C/mono100C-6.pdf>
- [7] Kavtaradze I., Avkopashvili G., Shengelia E., Gvasalia L. Monitoring of heavy metals in soils and plants. // Georgian Technical University, Proceedings #3 (485), 2012.
- [8] Avkopashvili G., Avkopashvili M., Gongadze A., Gakhokidze R. Eco-Monitoring of Georgia's Contaminated Soil and Water with Heavy Metals. // Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, vol. 12, No. 2, 2017, pp. 595-604.
- [9] Фомин Г.С., Фомин А.Г. Вода. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. // Справочник, Москва, 2001.
- [10] Risk Analysis Methodology of the Arsenic Impact on the Water Resources and its Application in Pilot Basin. // Water Researcher Institute of Slovak Republic, 2019.
- [11] ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია ზედაპირული წყლის ტექნიკური რეგლამენტის შესაბამისად. // საქართველოს მთავრობის დადგენილება №425, 2013 წლის 31 დეკემბერი, ქ. თბილისი.
- [12] ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია სასმელი წყლის დაბინძურებისგან დაცვის ტექნიკური რეგლამენტის შესაბამისად. // საქართველოს მთავრობის დადგენილება №58 2014 წლის 15 იანვარი ქ. თბილისი.
- [13] სუბატაშვილი გ. გარემოს ქიმია (ეკოქიმია). // თბილისი, უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2009, 187 გვ.

STUDY OF HYDROCHEMICAL COMPOSITION OF NATURAL WATERS OF RACHA-LECHKHUMI AND KVEMO SVANETI REGION IN 2023

Shavliashvili L., Kuchava G., Shubladze E., Tabatadze M., Buachidze N.

Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia

Shavliashvilali09@gmail.com

Abstract. The paper discusses the hydrochemical characterization of the rivers (Lukhuni and Tskhenistskali), artesian and spring waters in the areas adjacent to the arsenic processing enterprises of the Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti regions in 2023. Hydrochemical indicators and arsenic content were determined in natural waters, river suspended solids and bottom sediment. Rivers and artesian waters contaminated with various ingredients

have been identified. The obtained results are presented in the form of conclusions. Analyzes were carried out using modern methods and equipment that correspond to European standards.

In the river waters, in both the background and polluted samples, none of the determined components exceed the maximum allowable concentration (MPC) and are within the norm. Mineralization of river water belongs to the category of slightly and moderately mineralized waters;

Artesian and drinking spring waters belong to waters with moderate mineralization; Acidic spring water is especially distinguished, where there is an increase in water hardness (18.57 mg.eq/l) in relation to MPC, and its mineralization belongs to the category of highly mineralized waters; Among the polluting ingredients, we can single out ammonium ions from mineral forms of nitrogen, the content of which exceeds the MPC by about 1.2 times, and the nitrite content - 132 times, the amount of nitrates and phosphates does not exceed the MPC in any case;

In surface waters (river Lukhuni and Tskhenistskali) the arsenic hazard index is less than 1 ($HQ_{sw} < 1$) and they are not in danger;

In artesian and drinking waters, the arsenic hazard index is greater than 1 ($HQ_{dw} > 1$), these waters are at risk; High concentrations of arsenic are noted in the suspended solids and bottom sediments of rivers.

Key words: rivers and artesian waters, hydrochemistry, arsenic, pollution.

**რელიეფის გავლენის ზომიერითი მახასიათებლის შესწავლა ლოკალური აბსოლუტური
პროცესების დინამიკაზე**

ხვედელიძე ზ., ტატიშვილი მ., სამხარაძე ი., ზოტიკიშვილი ნ., ნებიერიძე ნ.

ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, სტუ, თბილისი, საქართველო
inga.samkharadze562@ens.tsu.edu.ge

ანოტაცია. წარმოდგენილ ნაშრომში განხილულია საქართველოს ტერიტორიაზე კლიმატურად მკვეთრად განსხვავებული „ქვაბურების“ თავისებურებანი. თეორიული მიდგომითა და მოდელური გათვლებით მიღებულია თითოეული ლოკალური რეგიონისათვის ჰაერის ნაკადის ვერტიკალური სიჩქარისა და რელიეფის გავლენის პარამეტრების მნიშვნელობები. ეს სიდიდეები საშუალებას იძლევა შევასაოთ მათი როლი ადგილობრივ კლიმატის ცვლილებასთან.

საკვანძო სიტყვები: ოროგრაფიული პარამეტრები, რელიეფის გავლენა, კლიმატის ცვლილება, ვერტიკალური სიჩქარე.

შესავალი

ბოლო რამდენიმე წლის განმავლობაში დედამიწაზე გახშირდა ძლიერი მეტეოროლოგიური პროცესები, რაც ძირითადად დაკავშირებულია გლობალური კლიმატის ცვლილებასთან. სამწუხაროდ საქართველოშიც მნიშვნელოვნად მოიმატა ექსტრემალური მეტეოროლოგიური პროცესების სიხშირემ. სხვა მნიშვნელოვან გამოძვევებში მიზეზს შორის საქართველოს რეგიონის არაერთგვაროვანი რელიეფი არის ერთერთი ინდიკატორი, რომელიც განსაზღვრავს სწორედ გახშირებული მეტეოროლოგიური პროცესების სიძლიერეს და ხანგრძლივობას. ამიტომ ასეთი ექსტრემალური პროცესები უმეტეს შემთხვევაში ლოკალური ხასიათისაა. ასეთი პროცესების საპროგნოზო მეთოდოლოგიის შემუშავება პირდაპირ კავშირშია საქართველოს ტერიტორიაზე არსებული კლიმატური თავისებურებების შესწავლასთან. უწყვეტი ოპერატიული მონაცემებით დასაბუთებულია, რომ ზოგიერთი ლოკალური რეგიონის ჰავა მკვეთრად განსხვავდება გარემომცველი მიდამოს კლიმატისაგან. ეს გარემოება ძირითადად რელიეფის ფორმას და მისგან გამოწვეულ დინამიკურ პროცესებს უკავშირდება. აქედან გამომდინარე, რელიეფის გავლენის პარამეტრების განსაზღვრა და მათი ანალიზი მეტად აქტუალური და მნიშვნელოვანია საქართველოს ტერიტორიაზე არსებულ „ქვაბურებში“ [1,2]. ასეთი მიკროცირკულაციური პროცესების დასაბუთებისათვის წარმოდგენილ ნაშრომში გამოყენებულია ჰიდროდინამიკური მიდგომა.

თუ დედამიწის რელიეფი აღიწერება განტოლებით $z = Z(x, y)$, მაშინ ჰაერის ნაკადის ვერტიკალური სიჩქარე w , აკმაყოფილებს შემდეგ დამოკიდებულებას [1,2,3]:

$$w(x, y, z, t) = U(x, y, z, t) \frac{\partial z}{\partial x} + V(x, y, z, t) \frac{\partial z}{\partial y} \quad (1),$$

სადაც U და V ქარის სიჩქარის კომპონენტებია u_x და u_y საკოორდინატო ღერძების მიმართ, უწყვეტობის განტოლების ინტეგრირებით $z = Z(x, y)$ ზედაპირიდან ∞ – მდე, იმ პირობით, რომ $(\rho w)_{z=\infty} = 0$, სადაც ρ ჰაერის სიმკვრივეა, მიღებულია უწყვეტობის განტოლება შემდეგი სახით [4-7]:

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = \frac{1}{\eta^2} (\eta, \varphi) \quad (2),$$

სადაც $\eta = \frac{\partial z}{\partial x}$ არის დროზე დამოუკიდებელი, რელიეფის გავლენის მახასიათებელი პარამეტრი; φ – წნევის მნიშვნელობა მთის წვერზე; P_0 სტანდარტული წნევა ზღვის დონეზე. რელიეფის გავლენა გაითვალისწინება პარამეტრებით [3]:

$$a = -\frac{\partial \ln \eta}{\partial x}; \quad b = \frac{\partial \ln \eta}{\partial y} \quad (3)$$

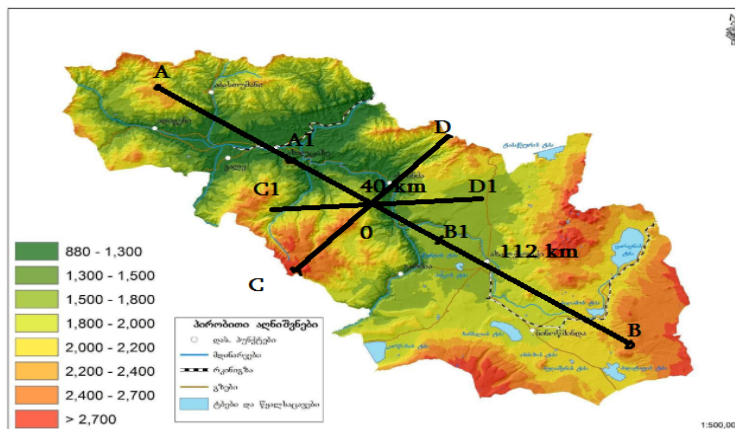
ქარის ვერტიკალური სიჩქარე კი განისაზღვრება ოროგრაფიული იაკობიანით ($P, \ln \theta$) [1-4]:

$$W_{\eta} = \frac{1}{\rho \eta} (p, \ln \eta) H = \frac{1}{\rho \eta} \left(\frac{\partial p}{\partial x} b - \frac{\partial p}{\partial y} a \right) H \quad (4),$$

ამ სიდიდეების a, b, W_{η} შეფასება კონკრეტული ლოკალური რეგიონისათვის, წარმოადგენს კვლევის ერთ-ერთ ძირითად მიზანს.

მოდელური მიდგომა და გათვლები

თავდაპირველად შევაფასეთ ოროგრაფიული პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობები ზემოთ აღწერილი დინამიკური მიდგომით ახალციხის ქვაბურისათვის. ახალციხის შიდა ქვაბურის საშუალო სიმაღლე $H = 1000$ მ, სიგრძე პარალელისა და მერიდიანის გასწვრივ შესაბამისად $\Delta x = 50$ კმ, $\Delta y = 50$ კმ, აღნიშნული მიმართულებით საწყის და ბოლო წერტილებში ატმოსფერული წნევის შესაბამისი რიცხვითი მნიშვნელობებია $P(დ)=980$ მბ, $P(აღ)=850$ მბ, $P(ჩრ)=820$ მბ, $P(სამ)=879$ მბ.



ნახ.1. ახალციხის ვიზიკურ-გეოგრაფიული რუკა.

ვისარგებლებთ a, b და W_{η} პარამეტრების უკვე შემოთავაზებული საანგარიშო ფორმულებით.

A,B,C,D წერტილებში არსებული წნევის მნიშვნელობების მიხედვით ვერტიკალური სიჩქარე გამოვთვალოთ ფორმულით:

$$W_{\eta} = \frac{1}{\rho \eta} (P \ln \eta) H = \frac{1}{\rho \eta} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \frac{\partial \ln \eta}{\partial y} - \frac{\partial p}{\partial y} \frac{\partial \ln \eta}{\partial x} \right) H = \frac{1}{\rho \eta} \left(\frac{\partial p}{\partial x} b - \frac{\partial p}{\partial y} a \right) H = \frac{1}{\rho \eta} \left(\frac{P_A - P_B}{\Delta x} b - \frac{P_C - P_D}{\Delta y} a \right) H$$

$$\text{სადაც } a = -\frac{\partial \ln \eta}{\partial x}, \quad b = \frac{\partial \ln \eta}{\partial y},$$

$$\text{სადაც } a = -\frac{\partial \ln \eta}{\partial x}, \quad b = \frac{\partial \ln \eta}{\partial y},$$

$$\Delta x = l_{AB} = 112 \text{ კმ,}$$

$$\Delta y = l_{CD} = 40 \text{ კმ,}$$

$$\Delta x_1 = l_{A_1B_1} = 40 \text{ კმ,}$$

$$a = \frac{(\ln \eta)_A - (\ln \eta)_B}{\Delta x} = \frac{\ln(p_x)_A - \ln(p_x)_B}{\Delta x}$$

$$b = \frac{(\ln \eta)_C - (\ln \eta)_D}{\Delta y} = \frac{\ln(p_x)_C - \ln(p_x)_D}{\Delta y}$$

ანალოგიურად გამოითვლება რელიეფის ამსახველი პარამეტრების მნიშვნელობები სხვა მოცემულ წერტილებში. ჩატარებული გათვლების შედეგად მივიღებთ: $a = -0,028 \cdot 10^{-4}$ 1/მ; $b = -0,03 \cdot 10^{-4}$ 1/მ; $a = 0,9$ მ. $W_{\eta} = -7,4$ სმ/წმ. W_{η} -ს უარყოფითი მნიშვნელობა მიუთითებს მასზე, რომ ქვაბურში რა

მიმართულებიდანაც არ უნდა შემოედინებოდეს ჰაერის მასა გვაქვს ამ ნაკადის არა აღმასვლა, არამედ ქვედინება ქვაბურის სიღრმისადმი. ჰაერის ნაკადის ვერტიკალური სიჩქარისა რელიეფის ამსახველი პარამეტრების მიღებული მნიშვნელობები ცხადყოფს, რომ ქვაბურში განვითარებული მიკროციკულაციური პროცესები მართლაც უნიკალურია - ოროგრაფიის გავლენა პარალელსა და მერიდიანის მიმართულებით თითქმის ერთნაირია და აქვს საპირისპირო ნიშნები. ბუნებრივია, ჰაერის ნაკადის ასეთი დინამიკა სერიოზულ გავლენას მოახდენს ლოკალური ამინდის ჩამოყალიბებაზე.

ანალოგიურად გამოვთვალოთ, ჰაერის ნაკადის ვერტიკალური სიჩქარისა და ოროგრაფიის გავლენის მითითებული პარამეტრები მესტიის „ქვაბურისთვის“. სიმარტივისთვის მივიღეთ, რომ „ქვაბურს“ უჭირავს (50x50) კმ² ფართობი. გამოთვლების შედეგად რელიეფის ამსახველი პარამეტრებისთვის მივიღეთ - $a = 7,2 \cdot 10^{-4}$ 1/მ; $b = 10^{-4}$ 1/მ; $a = 7,2b$, ხოლო ოროგრაფიული ვერტიკალური სიჩქარისათვის - $W_k = 10$ სმ/წმ. მიღებული შედეგები ცხადყოფს, რომ „ქვაბურის“ მიწისპირა ფენაში ქარი უმეტესად ქრის დასავლეთიდან პარალელის მიმართულებით მთავარი მთაგრეხილის გასწვრივ. მცირე ვერტიკალური სიჩქარის გამო ამ მთებზე მასათა გადადინება ვერ ხორციელდება. ჰაერის ნაკადი ტაფობში რჩება საკმარისად ხანგრძლივი დროით. ამითაა სწორედ განპირობებული სვანეთის კლიმატური თავისებურება - ცივი ზამთარი და ხანგრძლივი გრილი ზაფხული. მოყვანილი მსჯელობიდან ნათელია, რომ მიღებული შედეგი ასაბუთებს იმ კლიმატურ განსაკუთრებულობას, რომელიც რეალურად დაიკვირვება „ქვაბურში“.

ანალოგიური გათვლები ჩავატარეთ ჭიათურის „ქვაბურისთვის“, უპირველეს ყოვლისა, განვსაზღვრეთ ატმოსფერული წნევის სიდიდე მიკროტერიტორიაზე ოთხ წერტილში და ამ წერტილებს შორის მანძილი. აღნიშნული წერტილები ავიღეთ შემდეგ ლოკაციებზე: მდინარე ყვირილას მარჯვნივ - თაბაგრევი, მარცხნივ შუქრუთი, სამხრეთით - კაცხი, ჩრდილოეთით საჩხერე და ამავე დროს განვსაზღვრეთ მოცემულ ლოკაციებს შორის პირდაპირი მანძილი. ქვაბურის სიგრძე ხეობის გასწვრივ დაახლოებით $\Delta x = 30$ კმ-ია, მდინარის დინების მართობული მიმართულებით $\Delta y = 4$ კმ. მიწისპირა ფენის სიმაღლე 1000 მ. თუ მივიღებთ, რომ სოფ. რგანის სიმაღლეა 960 მ, პერევისა - 900 მ, კაცხი - 730 მ, საჩხერე - 455 მ. შესაბამისად წნევის მნიშვნელობები აღნიშნულ ლოკაციებზე იქნება - $P_{რგანი} = 904$ მმ, $p_{პერევი} = 900$ მმ, $P_{კაცხი} = 954,5$ მმ, $P_{საჩხერე} = 927$ მმ. ამ მონაცემებზე დაყრდნობით მიკროციკულაციური პროცესების გამსაზღვრელი პარამეტრების მნიშვნელობებისათვის მივიღეთ [1,4]: $a = 3 \cdot 10^{-6}$ 1/მ, $b = -1,75 \cdot 10^{-6}$ 1/მ, $W_k = 6$ მმ/წმ, $a = -1,1b$. ეს მონაცემები იძლევა იმის საფუძველს, რომ აიხსნას ჭიათურის ქვაბურში ჰაერის არსებული მიკროციკულაციური რეჟიმი. მართლაც დაკვირვებით ჩანს, რომ ქარი უმეტეს შემთხვევაში ქრის დასავლეთიდან აღმოსავლეთისკენ (ან პირიქით) მდინარე ყვირილას ხეობის გასწვრივ $a > b$. ვერტიკალური სიჩქარის მინიმალური მნიშვნელობა და შესაბამისად ჰაერის ცირკულაციური ჩახვეულობა ნაკადს ქვაბურში აბრუნებს. ჰაერის ნაკადის ასეთი დინამიკით აიხსნება ის გარემოება, რომ ზაფხულობით ქალაქში ტემპერატურა გაცილებით მაღალია, ვიდრე ქალაქის გარშემო. ზამთრის პერიოდში კი ქვაბურში მცირე თოვლი მოდის, ხოლო ფერდობებზე თოვლის სიმაღლე ასეული სანტიმეტრია.

დასკვნა

წარმოდგენილ სტატიაში განხილულია საქართველოს ტერიტორიაზე არსებული ზოგიერთი „ქვაბურის“ კლიმატური თავისებურებანი და შესაბამისად დასაბუთებულია მათი როლი ადგილობრივ კლიმატის ცვლილებასთან კავშირში. აღნიშნული ცვლილებების შესასწავლად მოყვანილია რამდენიმე თეორიული და მოდელური მიდგომა საქართველოს ტერიტორიაზე არსებული სამი „ქვაბურისათვის“, რომელთა კლიმატური პარამეტრები მნიშვნელოვნად განსხვავდება „ქვაბურის“ გარშემო ტერიტორიაზე არსებული კლიმატისაგან. შემოთავაზებული და მათემატიკურად დადასტურებული პროცედურა უზრუნველყოფს, რომ დაზუსტდეს ლოკალურ მიდამოზე ტურბულენტურ გარემოში ქარის რეჟიმის დინამიკა და სხვა კლიმატური პარამეტრების ცვლილებები.

ლიტერატურა

- [1] ხვედელიძე ზ., ტატიშვილი მ., სამხარაძე ი., ზოტიკიშვილი ნ. საქართველოს ცალკეულ რეგიონებისათვის ლოკალური ოროგრაფიის როლის შეფასება ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის ჰაერის ტურბულენტური ნაკადის დინამიკაში. // სტუ-ის ჰმი-ის შრომათა კრებული, ტ.133, 2023, გვ. 112-116.
- [2] Khvedelidze Z., Samkharadze I., Tatishvili M., Zotikishvili N. Dynamics of microcirculation movement of air flow and climatic peculiarities in Samegrelo-Zemo Svaneti region. // Scientific Reviewed Proceedings of the IHM, GTU, vol.129, 2020, pp. 113-115.
- [3] ხვედელიძე ზ. რეგიონალური მიკროცირკულაციური ატმოსფერული პროცესების დინამიკა მთა-გორიან ტერიტორიაზე. // მონოგრაფია. ჰიდრომეტეოროლოგიური ინსტიტუტის გამომცემლობა, თბილისი, 2018 წ., გვ.101.
- [4] ხვედელიძე ზ. ჯანეზაშვილი დ. რეგიონის მიკროკლიმატური პარამეტრებით, ლოკალური ქარის რეჟიმის განსაზღვრა ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში. // ქართული ელექტრონული სამეცნიერო ჟურნალი „ფიზიკა“ (<http://ges.interneacademy.org.ge/physic/>), 2013 წ., გვ. 65-76.
- [5] ხვედელიძე ზ., ზოტიკიშვილი ნ. ქარისა და დედამიწის ლოკალური რელიეფის ურთიერთქმედების, ზოგიერთი თავისებურებების მოდელური გათვლები საქართველოს ტერიტორიაზე. // ქართული ელექტრონული სამეცნიერო ჟურნალი „ფიზიკა“ (<http://ges.interneacademy.org.ge/physic/>), 2016 წ., გვ. 63-72
- [6] ხვედელიძე ზ. , ჩიტალაძე ა. საქართველოს რეგიონის ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის სითბური რეჟიმის ბუნება. // „მეცნიერება და ტექნიკა, № 10-12, 1999 წ., გვ. 52-55.
- [7] ხვედელიძე ზ., სამხარაძე ი., ტატიშვილი მ., ზოტიკიშვილი ნ. ჰაერის ნაკადის მიკროცირკულაციური მოძრაობის დინამიკა და კლიმატური თავისებურებანი სამეგრელო-სვანეთის რეგიონზე. // სტუ-ის ჰმი-ის შრომათა კრებული, „ჰიდრომეტეოროლოგია და ეკოლოგიის პრობლემები“ თბილისი. ტ.129, 2020, გვ. 114-116.

STUDY OF TERRAIN INFLUENTIAL PARAMETERS ON THE DYNAMICS OF LOCAL ATMOSPHERIC PROCESSES

Khvedelidze Z., Tatishvili M., Samkharadze I., Zotikishvili N., Nebieridze N.

Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia inga.samkharadze562@ens.tsu.edu.ge

Abstract. The presented paper discusses the peculiarities of climatically diverse "caverns" in the territory of Georgia. The air flow vertical speed values and terrain influence parameters for each local region have been obtained by theoretical approach and model calculations. These quantities allow us to assess their role in local climate change.

Key words: Orographic parameters, terrain influence, climate change, vertical velocity.

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

***სამხარაძე ი., **დავითაშვილი თ.**

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

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

საკვანძო სიტყვები: კონვექცია, თერმოდინამიკა, არამდგრადობა.

შესავალი

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

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

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

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

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

სადაც T_v არის ჰაერის ვირტუალური ტემპერატურა.

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

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

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

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

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

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

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

შესაბამისად,

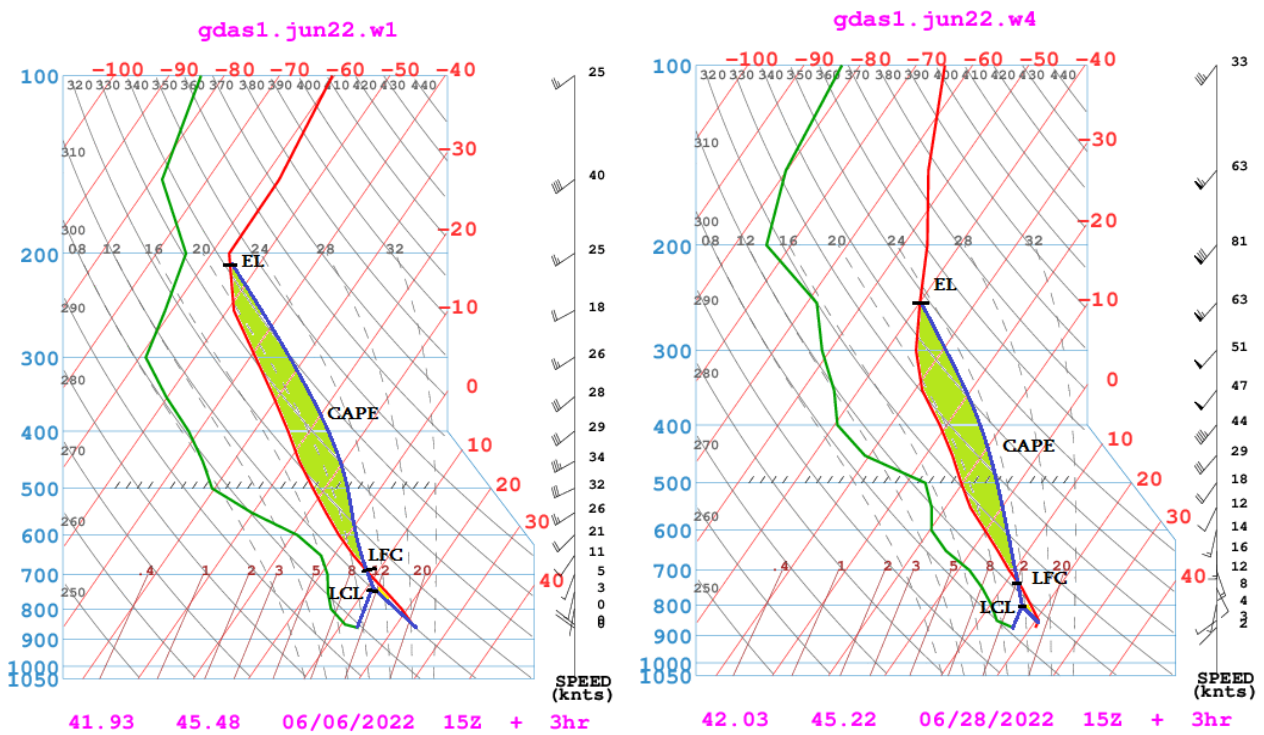
$$w(z_{max}) = \sqrt{2 CAPE}, \quad (3)$$

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

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

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

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



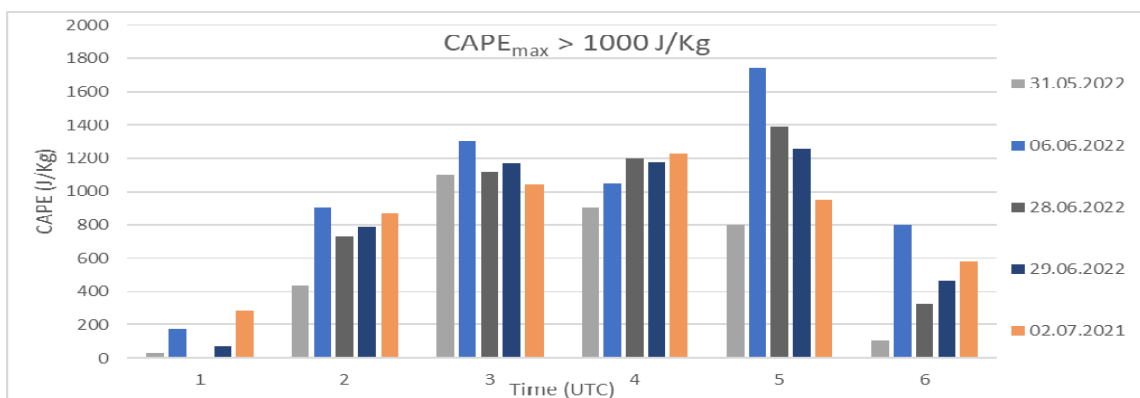
ნახ. 1. აეროლოგიური დიაგრამა. (ა)- თელავი 2022 წლის 6 ივნისი (15 UTC),
 ბ) -ახმეტა 2022 წლის 28 ივნისი (15 UTC)).

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

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

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

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



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

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

დასკვნა

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

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

ლიტერატურა

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

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

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

*Samkharadze I., **Davitashvili T.

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

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

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

Key words: convection, thermodynamics, instability.

VARIABILITY OF THE MEAN MAX ANNUAL AIR TEMPERATURE IN 39 LOCATIONS OF GEORGIA IN 1956-2015

*Amiranashvili A., *Kartvelishvili L., *Kutaladze N., *Megrelidze L., ***Tatishvili M.

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

**National Environmental Agency, Tbilisi, Georgia

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

e-mail: avtandilamiranashvili@gmail.com

Abstract: The research results of the variability of the mean max annual air temperature at 39 locations in Georgia against the background of global climate change in 1956-2015 are presented. The statistical characteristics of the mean max annual air temperature in the period 1956-2015 (T), 1956-1985 (T_1) and 1986-2015 (T_2) for each point were studied. It has been established that in the second period compared to the first, there is a significant increase in the average max air temperature at the 29 stations from 0.3°C (Stepantsminda) to 1.2°C (Bakuriani); for Shovi this difference is 1.1°C . It is shown that between the T_1 , T_2 values and the terrain height there has been observed the high inverse linear correlation and regression relationship there. At the same time, the lines of the regression equations are parallel with the increasing in the second period compared to the first by 0.6°C .

It is shown, that a significant value of $(T_2 - T_1)/T$ changes from 2.0 % (Chokhatauri) to 11.0% (Bakuriani); for Shovi this indicator is 8.4 %. The significant value $(T_2 - T_1)/T$ increases with terrain height in accordance with a second power polynomial.

Key words: Mean max annual air temperature, climate change, significant value, second power polynomial.

Introduction

Currently, the problem of climate change is very relevant in the world [1]. This problem is of significant importance for Georgia, especially with the wide variety of climatic regions on its territory [2].

Our recent studies examined the variability of average and average max air temperatures in some regions of Georgia [3-6], as well as in Kislovodsk [7]. In addition the assessment was carried out using various methods expected changes in air temperature in the coming decades for some regions of Georgia (including Tbilisi), as well as St. Petersburg [8-12].

This article presents some results of a study of the mean max annual air temperature variability in 39 locations in Georgia against the background of global warming in 1956-2015. Besides other facts, the need to detailly conduct such studies is also preconditioned by the intensification of glacier melting in landslides and mudflows prone areas. The latest example is the disaster in Shovi on August 3, 2023, as a result of which more than 30 people died due to a mudflow caused by the melting of a glacier.

Study area, material and methods

Study area – 39 locations of Georgia (Table 1). 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: Mean – average values; Min – minimal values; Max - maximal values; St Dev - standard deviation; Cv – coefficient of variations ($Cv = 100 \cdot \text{St Dev} / \text{Mean}$, %); R^2 – coefficient of determination; H - height of the meteorological station above sea level, meter; T, T_1 and T_2 - mean max annual air temperature in 1956-2015, 1956-1985 and 1986-2015 accordingly; $(T_2 - T_1)/T$ – relative difference of mean max annual air temperature, %; difference between *mean max annual air temperature* ($T_2 - T_1$) was produced with the use of Student's criterion with the level of significance not worse than 0.15.

Results and discussion

Results on Table 1 and Fig. 1-4 are presented. Table 1 shows the statistical characteristics of the mean annual max air temperature in 39 locations of Georgia in 1956-2015, 1956-1985 and 1986-2015.

Table 1. Statistical characteristics of mean max annual air temperature in 39 locations of Georgia.

Year	H, meter	T_(1956-2015)					T ₁ _(1956-1985)	T ₂ _(1986-2015)
Location	Variable	Mean	Min	Max	St Dev	Cv (%)	Mean	Mean
Akhalkalaki	1716	11.8	9.6	15.2	1.1	9.2	11.4	12.2
Akhaltshikhe	982	16.6	14.5	19.1	1.1	6.3	16.3	17.0
Ambrolauri	544	18.2	15.8	20.6	0.9	4.9	17.9	18.5
Bakhamro	1926	8.6	6.5	11.1	1.0	11.4	8.6	8.6
Bakuriani	1665	11.3	9.3	14.6	1.2	10.2	10.7	11.9
Batumi	2	18.7	16.8	21.5	0.9	4.7	18.6	18.8
Bolnisi	534	18.2	16.3	20.4	0.9	5.1	17.9	18.5
Borjomi	789	15.8	6.6	20.2	2.3	14.5	15.8	15.8
Chokhatauri	150	19.6	17.6	22.0	0.9	4.5	19.4	19.8
Dedoplistskaro	800	16.5	14.1	18.9	1.1	6.7	15.9	17.0
Gardabani	300	19.5	15.7	21.2	1.0	5.1	19.3	19.7
Goderdzi	2025	6.6	3.8	9.6	1.0	15.8	6.7	6.6
Gori	588	17.0	15.2	19.3	0.9	5.3	16.7	17.3
Gudauri	2194	7.8	5.9	10.6	1.0	12.2	7.4	8.3
Gurjaani	410	18.4	16.5	20.3	0.9	4.7	18.1	18.7
Khaishi	730	16.3	14.4	18.6	0.9	5.3	16.0	16.6
Khashuri	709	16.0	13.9	18.8	1.1	6.7	15.7	16.3
Khulo	914	15.8	13.0	18.1	1.0	6.3	15.9	15.8
Kobuleti	7	18.7	16.9	21.1	0.9	4.6	18.3	19.0
Kutaisi	114	19.9	17.5	22.6	0.9	4.7	19.8	20.0
Kvareli	449	18.7	16.5	21.0	1.0	5.2	18.3	19.1
Lagodekhi	362	18.7	16.8	21.1	1.0	5.4	18.5	19.0
Lentekhi	760	15.8	13.4	18.5	1.0	6.1	15.7	15.9
Mestia	1441	13.4	11.0	15.8	1.0	7.8	13.2	13.7
Mta-sabueti	1242	11.1	9.1	13.5	0.9	8.1	10.9	11.3
Paravani	2100	7.9	6.0	10.2	0.9	11.2	7.7	8.2
Pasanauri	1070	14.5	12.3	17.2	0.9	6.3	14.1	14.9
Poti	4	19.1	17.5	21.6	1.0	5.2	18.7	19.6
Sachkhere	415	18.6	16.2	21.1	1.0	5.6	18.5	18.7
Sagarejo	802	17.0	15.5	19.0	0.9	5.1	16.9	17.2
Samtredia	28	20.3	17.9	23.0	1.0	4.9	20.0	20.6
Shovi	1507	12.6	10.0	17.6	1.5	11.6	12.1	13.1
Stepantsminda	1744	10.6	8.6	13.5	1.0	9.3	10.4	10.8
Tbilisi	403	18.9	17.1	20.5	0.9	4.6	18.7	19.1
Telavi	568	17.7	15.8	19.7	0.9	5.3	17.3	18.1
Tianeti	1099	14.4	12.4	16.7	0.9	6.3	14.1	14.7
Tsalka	1457	12.2	10.2	14.5	0.9	7.6	11.8	12.6
Zestafoni	160	20.3	17.9	22.5	0.9	4.5	20.2	20.3
Zugdidi	117	19.9	17.7	22.5	1.0	4.9	19.5	20.2

The data of Table 1 was used to analyze the variability features in the mean max air temperature in Georgia (Fig. 1-4).

On the Fig. 1 the difference between mean annual max air temperature in Georgia in 1986-2015 (T_2) and 1956-1985 (T_1) are presented.

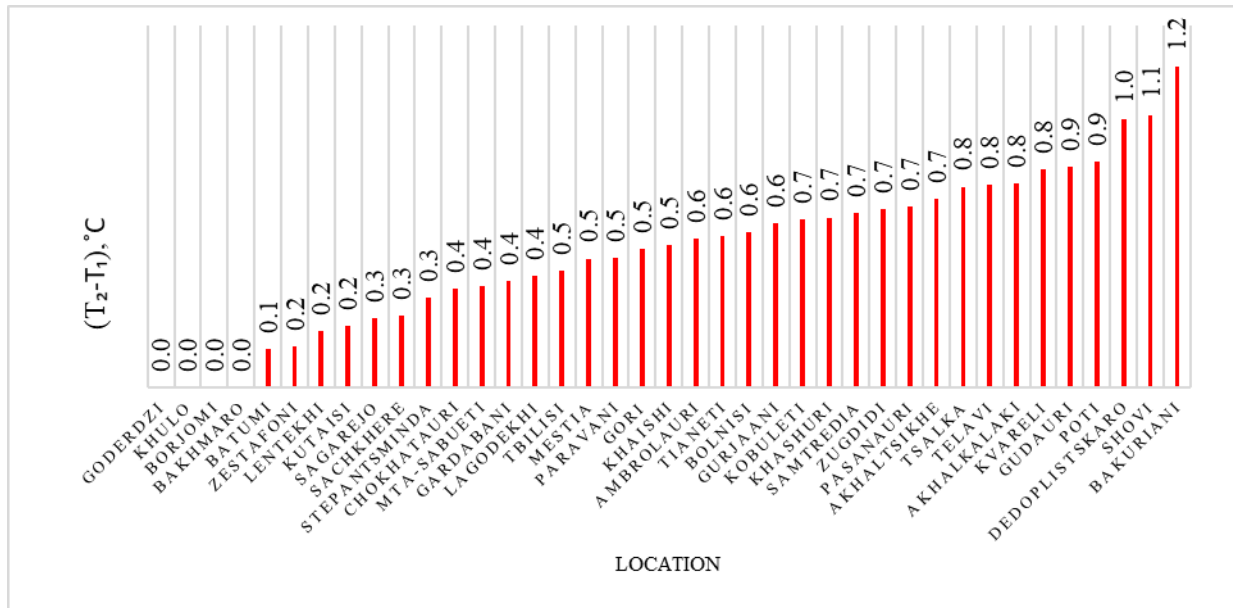


Fig. 1. Difference between mean max annual air temperature in Georgia in 1986-2015 (T_2) and 1956-1985 (T_1).

In particular, as follows from Fig. 1, in the second period compared to the first, there is a significant increase in the average maximum air temperature at the 29 stations from 0.3 °C (Stepantsminda) to 1.2 °C (Bakuriani); for Shovi, where on August 3, 2023 due to a mudflow that killed more than 30 people, this difference is 1.1 °C.

It is important that the insignificant increase in the mean max air temperature in the second period compared to the first is observed in Goderdzi, Khulo, Bakhmaro, Borjomi, Zestafoni, Batumi, Kutaisi, Lentekhi, Sachkhere and Sagarejo.

On Fig. 2 vertical distribution of mean annual max air temperature in Georgia in 1956-1985 (T_1) and 1986-2015 (T_2) are presented.

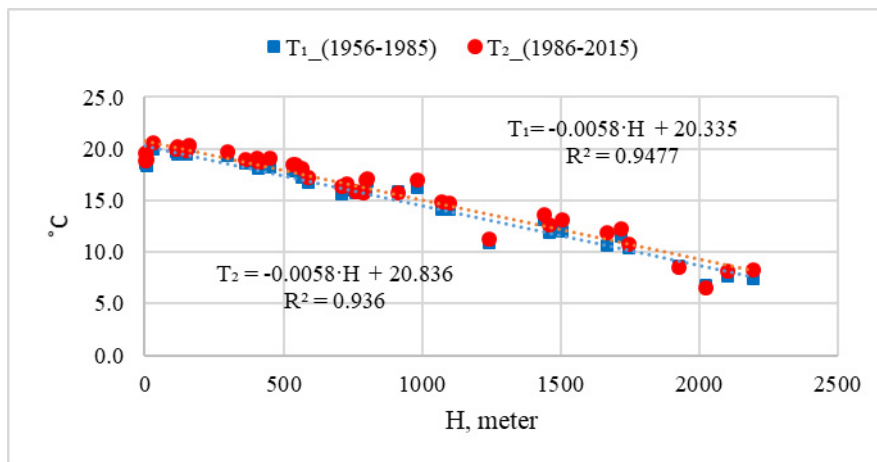


Fig. 2. Vertical distribution of mean max annual air temperature in Georgia in 1956-1985 (T_1) and 1986-2015 (T_2).

As it follows from Fig. 2 the high inverse linear correlation and regression relationship is observed between the mean max air temperature and area height in both periods. At the same time, the lines of the regression equations are parallel with an increase in the second period compared to the first by 0.6 °C.

On Fig. 3 the map of the relative difference distribution of mean max annual air temperature in Georgia is presented.

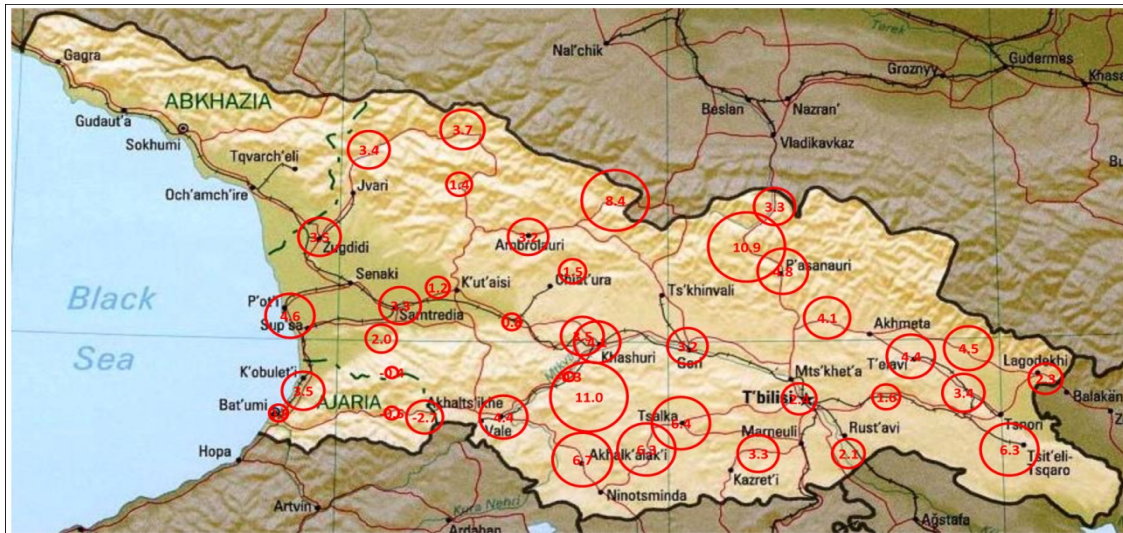


Fig. 3. Map of the difference distribution between the mean max annual air temperature in Georgia in 1986-2015 (T_2) and 1956-1985 (T_1) relative to air temperature in 1956-2015 (T), %.

As follows from this map the significant value of $(T_2 - T_1)/T$ changes from 2.0 % (Chokhatauri) to 11.0% (Bakuriani). For Shovi this indicator is 8.4 %.

And finally on Fig. 4 vertical distribution of the significant values of $(T_2 - T_1)/T$ in Georgia is presented.

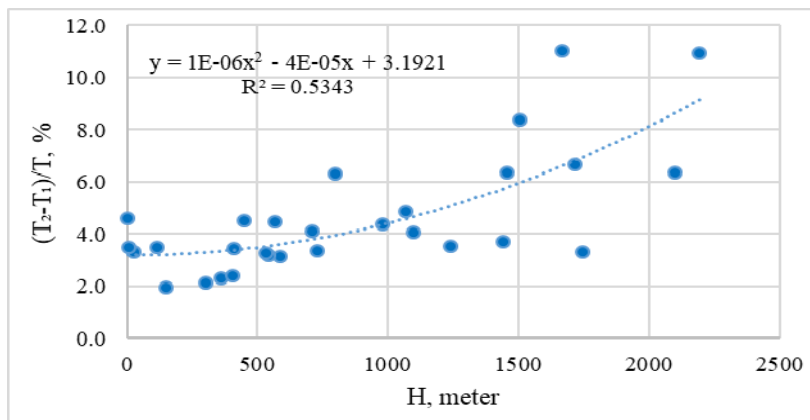


Fig. 4. Vertical distribution of the difference between the mean max annual air temperature in Georgia in 1986-2015 (T_2) and 1956-1985 (T_1) relative to air temperature in 1956-2015 (T).

As it follows from Fig. 4 in general, the significant value $(T_2 - T_1)/T$ increases with terrain height in accordance with a second power polynomial. Thus, with the increasing of area height there is mainly the intensification of the increase in air temperature as a result of climate change.

Conclusion

In the future, we envisage even greater expansion of work on studying the impact of climate change on its various elements, including air temperature, as well as forecasting these changes in Georgia.

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] Tavartkiladze K., Begalishvili N., Kharchilava J., Mumladze D., Amiranashvili A., Vachnadze J., Shengelia I., Amiranashvili V. Contemporary Climate Change in Georgia. Regime of Some Climate Parameters and their Variability. // Monograph, ISBN 99928-885-4-7, Tbilisi, 2006, 177 p., (in Georgian).
- [3] Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Megrelidze L.D. Changeability of the Meteorological Parameters Associated with Some Simple Thermal Indices and Tourism Climate Index in Adjara and Kakheti (Georgia). // Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 21(2), Tbilisi, 2018, pp. 77-94. <http://www.adry.tsu.ge/index.php/GGS/article/view/2529>
- [4] 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>
- [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". Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp. 86-90, <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/8613>
- [6] Amiranashvili A. Variability of the Average Annual Air Temperature in Tbilisi Against the Background of Global Warming in 1880-2021. // II Int. Sc. Conf. "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>
- [7] Amiranashvili A., Povolotskaya N., Senik I. Comparative Analysis of the Variability of Monthly and Seasonal Air Temperature in Tbilisi and Kislovodsk in 1931-2020. // 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. 27 - 30.
- [8] Amiranashvili A., Chikhladze V., Kartvelishvili L. Expected Change of Average Semi-Annual and Annual Values of Air Temperature and Precipitation in Tbilisi. // Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, ISSN 1512-1127, vol. 13B, Tbilisi, 2009, pp. 50 – 54.
- [9] Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Khurodze T. Application of Some Statistic Methods for the Prognostication of Long-Term Air Temperature Changes (Tbilisi Case). // Trans. of the Int. Sc. Conf. Dedicated to the 90th Anniversary of Georgian Technical University "Basic Paradigms in Science and Technology Development for the 21th Century", Tbilisi, Georgia, September 19-21, 2012, Part 2, ISBN 978-9941-20-098-4, Publishing House "Technical University", 2012, pp. 331-338, (in Russian).
- [10] 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).
- [11] 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/>
- [12] 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>

COMPARISON OF THE MEAN MAX ANNUAL, SEASONAL AND MONTHLY AIR TEMPERATURE VARIABILITY IN TBILISI AND SHOVI IN 1956-2022

*Amiranashvili A., **Kartvelishvili L., **Kutaladze N., ***Megrelidze L., ****Tatishvili M.

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

**National Environmental Agency, Tbilisi, Georgia

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

e-mail: avtandilamiranashvili@gmail.com

Abstract: Some results of comparative analysis of the average maximum annual, seasonal and monthly air temperature variability in Tbilisi and Shovi during 1956-2022 against the background of global warming are presented.. The statistical characteristics of the mean max annual, seasonal and monthly air temperature in the period 1956-2022 (T), 1956-1985 (T_1) and 1993-2022 (T_2) for each point were studied.

It is shown that compared to Tbilisi, climate warming in Shovi is much more significant. For example, the increase in the mean annual max air temperature in Tbilisi in 1993-2022 compared to 1956-1885 was 0.8 °C, while in Shovi it was 1.9 °C. The situation is similar for the warm and cold half of the year. The maximum increase in the mean max monthly air temperature at both points was observed in August. At the same time, in Tbilisi - 1.9 °C, and in Shovi - 3.7 °C.

It is shown that the trend of the mean max annual and seasonal air temperature in 1956-2022 in Tbilisi is described by the second power polynomial, and in Shovi - by the third power polynomial. Using these equations, the average annual rate of increase in air temperature at both points was calculated. In particular, it was found that in 2011-2020 this speed in Shovi is three times higher than in Tbilisi.

Key words: Mean max annual air temperature, climate change, thermal regime, statistical analysis.

Introduction

The problem of climate change is very relevant for almost all countries [1] including Georgia with the wide variety of climatic regions on its territory [2].

Our recent papers have studied the variability of average and average maximum air temperature in various regions of Georgia [3-7], assessed expected changes in air temperature using various methods, etc. [2, 8, 9]. In particular, it was found that long-term variability of air temperature in Tbilisi practically coincides with variations in the global average air temperature within the latitude range 24°N-64°N [3,4]. This makes possible to use air temperature data in Tbilisi as a reference to determine of the impact of global climate change impact on the thermal regime in various regions of Georgia. In addition, estimates were made of the average maximum annual, seasonal and monthly air temperature variability in 39 points of Georgia.

Studies have shown that, in general, as the altitude of the area increases, the influence of global climate change on air temperature increases [6,7]. This is confirmed by the intensification of glacier melting [10,11]. An example of the negative impact of this intensification on the environment is the disaster in Shovi on August 3, 2023, as a result of which more than 30 people died due to a mudflow commence by the melting of a glacier.

This fact once again confirmed the necessitate further develop research in the field of climate change, especially in mountainous areas (measurement of climate parameters, their analysis, short and long-term forecasts).

The new research results of a comparative analysis of the average maximum annual, seasonal and monthly air temperature variability in Tbilisi and Shovi against the background of global warming in 1956-2022 are provided in presented article.

Study area, material and methods

Study area – Tbilisi (41.72 °N, 44.8 °E, 403 m a.s. l.) and Shovi (42.7 °N, 43.68 °E, 1507 m a. s. l.). For the analysis the mean max annual, seasonal and monthly air temperature data of the National Environment Agency data of Georgia are used. Period of observations covers 1956-2022 years.

In the proposed work the data analysis 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 [12].

The following designations will be used below: Mean – average values; Min – minimal values; Max - maximal values; St Dev - standard deviation; R² – coefficient of determination; K_{DW} – Durbin-Watson statistic; α - the level of significance; T, T₁ and T₂ - mean max annual, seasonal and monthly air temperature in 1956-2022, 1956-1985 and 1993-2020 accordingly. Difference between mean max air temperature in 1993-2020 and 1956-1885 was produced with the use of Student's criterion with the level of significance α not worse than 0.15. The statistical program Data Fit 7 was used for calculations.

The regression equation on the trend curve represents the dependence the investigated parameter on time at the significant value of the determination coefficient and such values of K_{DW}, where the residual values are accidental. Using these equations, the average annual rate of changeability of air temperature at both points was calculated (T_s, °C/year).

Results and discussion

The research results are presented on Tables 1-4 and Fig. 1-4. Tables 1 and 2 show statistical characteristics of the mean max annual, seasonal and monthly air temperature in Tbilisi and Shovi in 1956-2022, 1956-1985 and 1993-2022 periods.

Table 1. Statistical characteristics of mean max annual, seasonal and monthly air temperature in Tbilisi.

Location	Tbilisi						
Period	1956-2022					1956-1985	1993-2022
Season/Month	Mean	Min	Max	St Dev	Cv (%)	Mean	Mean
Year	19.0	17.1	20.6	0.9	4.8	18.7	19.5
Cold	11.5	9.2	14.5	1.1	10.0	11.3	11.9
Warm	26.6	24.4	29.0	1.1	4.1	26.1	27.1
Jan	6.8	0.4	11.0	2.3	33.1	6.6	7.3
Feb	8.3	1.9	13.2	2.8	33.2	7.8	9.1
Mar	12.7	8.3	18.9	2.2	17.6	12.1	13.3
Apr	18.9	14.6	24.5	2.3	12.3	18.7	18.8
May	23.8	20.5	27.9	1.8	7.4	23.9	24.0
Jun	28.2	25.4	32.4	1.7	6.2	27.5	28.9
Jul	31.2	28.1	35.2	1.6	5.2	30.6	31.7
Aug	31.1	27.5	36.7	2.1	6.7	30.2	32.1
Sep	26.3	22.5	30.3	1.8	6.9	25.7	26.8
Oct	19.7	15.2	23.7	1.8	9.1	19.5	20.1
Nov	13.1	6.9	16.9	1.8	13.6	13.2	13.1
Dec	8.3	3.3	12.4	1.9	22.8	8.4	8.3

Table 2. Statistical characteristics of mean max annual, seasonal and monthly air temperature in Shovi.

Location	Shovi						
Period	1956-2022					1956-1985	1993-2022
Season/Month	Mean	Min	Max	St Dev	Cv (%)	Mean	Mean
Year	12.9	10.0	17.6	1.6	12.7	12.1	14.0
Cold	5.9	2.6	10.2	1.5	26.1	5.5	6.7
Warm	19.8	16.9	25.0	2.0	10.2	18.6	21.3
Jan	1.1	-5.5	5.3	2.2	200.5	1.2	1.4
Feb	3.1	-4.7	8.4	2.6	82.2	2.7	3.9
Mar	6.2	1.3	13.0	2.5	40.6	5.6	6.8
Apr	12.4	7.1	19.7	2.8	22.8	11.5	13.4
May	17.6	12.2	23.5	2.4	13.7	16.7	19.0
Jun	21.1	17.5	27.8	2.5	11.9	19.9	22.7
Jul	24.0	20.1	29.1	2.3	9.6	22.7	25.5
Aug	24.1	19.0	30.9	2.9	11.8	22.5	26.2
Sep	19.7	13.8	26.9	2.7	13.8	18.5	21.2
Oct	14.5	9.0	22.3	2.7	18.7	13.5	15.9
Nov	8.0	2.4	16.9	2.9	36.1	7.7	8.9
Dec	2.5	-1.6	10.5	2.2	87.9	2.3	3.1

The data of Tables 1 and 2 was used to analyze the mean max air temperature variability features in Tbilisi and Shovi (Fig. 1-4).

On Fig. 1 data on difference between mean max annual, seasonal and monthly air temperature in Tbilisi and Shovi in 1993-2022 (T_2) and 1956-1985 (T_1) are presented.

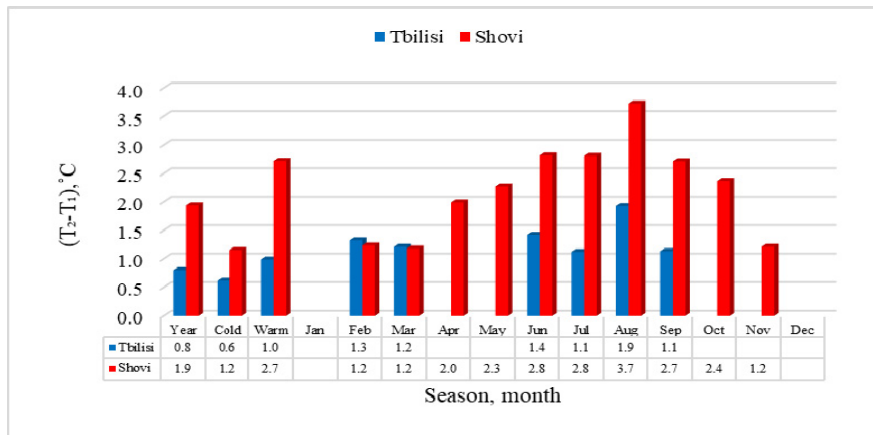


Fig. 1. The difference between mean max seasonal and monthly air temperature in Tbilisi and Shovi in 1993-2022 (T_2) and 1956-1985 (T_1).

For comparison, we note that in Shovi in 1986-2015, compared with 1956-1985, the increase in mean max air temperature was [6,7]: Year – 1.1 °C, Warm – 1.7 °C, Apr – 1.3 °C, May – 1.2 °C, Jun – 1.6 °C, Jul – 1.9 °C, Aug – 2.4 °C, Sep – 1.9 °C, Oct – 1.5 °C.

As follows from Fig. 1 and data [6,7] in just seven years, a significant climate warming occurred in Shovi. Over the last thirty-year period, the mean max annual air temperature increased by 0.8 °C, in the warm half of the year - by 1.0 °C, in April - by 0.7 °C, in May - by 1.1 °C, in June - by 1.2 °C, in July – by 0.9 °C, in August – by 1.3 °C, in September – by 0.8 °C, in October – by 0.9 °C. In the cold half of the year, February, March and November, the increase in temperature became significant. Only in January and December there has not yet been a significant increase in the mean max air temperature.

This fact indicates the need to strengthen monitoring of climate parameters (especially air temperature and precipitation) and regular analysis of their variability. First of all, this concerns mountainous regions, where intensification of glacier melting occurs and natural disasters associated with this process (landslides, mudflows, etc.) is expected.

The mean max annual and seasonal air temperature trend in 1956-2022 in Tbilisi is described by the second power polynomial, and in Shovi - by the third power polynomial (Table 3, Fig. 2-4). The corresponding values of the K_{DW} coefficients indicate that the residual components of these trends are accidental.

Table 3. Regression equation of mean max annual and seasonal air temperature trends in Tbilisi and Shovi trends in 1956-2022, $\alpha(R^2) < 0.005$, x - year.

Location	Tbilisi			Shovi		
Regression equation	$Y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$			$Y = a \cdot x^3 + b \cdot x^2 + c \cdot x + d$		
Season	Year	Cold	Warm	Year	Cold	Warm
R^2	0.321	0.153	0.303	0.621	0.355	0.694
K_{DW}	1.97	1.71	2.38	1.46	1.64	1.60
$\alpha(K_{DW})$	0.05	0.05	0.05	0.01	0.05	0.025
a	0.001001	0.001056	0.000954	3.99E-05	5.06E-05	2.85E-05
b	-3.96238	-4.18763	-3.76786	-0.2362	-0.30063	-0.16818
c	3939.098	4161.749	3747.145	466.168	594.884	330.3432
d				-306673	-392372	-216277

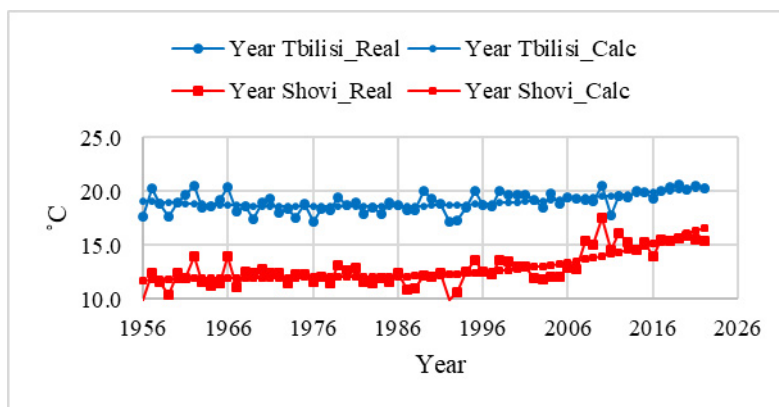


Fig. 2. Trend of mean max annual air temperature in Tbilisi and Shovi in 1956-2022.

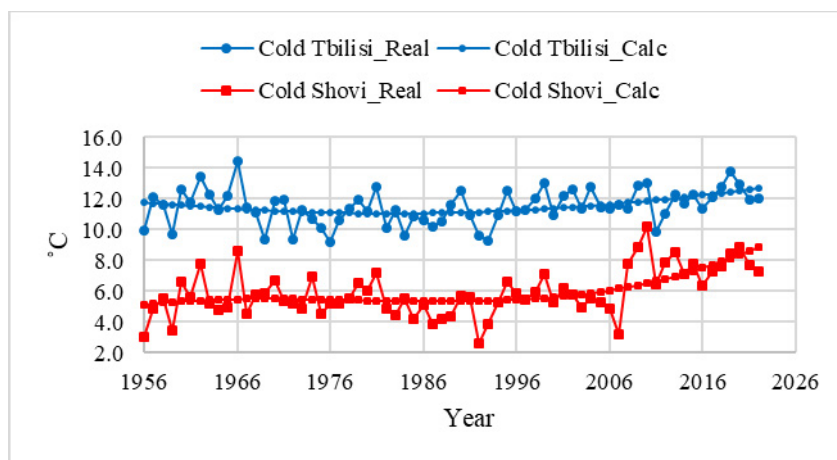


Fig. 3. Trend of mean max air temperature in Tbilisi and Shovi in cold period in 1956-2022.

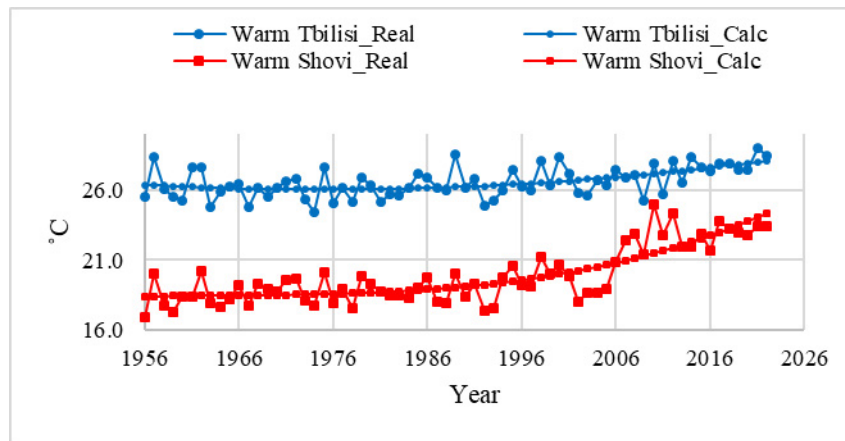


Fig. 4. Trend of mean max air temperature in Tbilisi and Shovi in warm period in 1956-2022.

As it follows from Fig. 2-4 the intensification of air temperature increase in both points, especially in Shovi, began in the nineties of the last century.

On Fig. 5 the mean max air temperature change rate in Tbilisi and Shovi in three periods of the year from 1956 to 2022 are presented.

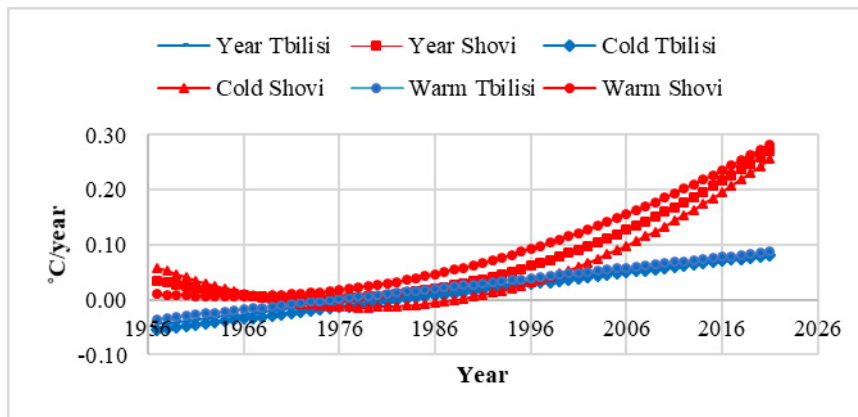


Fig. 5. The mean max air temperature change rate in Tbilisi and Shovi in three periods of the year from 1956 to 2022.

In Table 4 average decade of change rate in mean max air temperature in Tbilisi and Shovi in three periods of the year from 1991 to 2020 are presented.

Table 4. Average decade of change rate in mean max air temperature in Tbilisi and Shovi in three periods of the year from 1991 to 2020.

Period	Location	Tbilisi	Shovi	Tbilisi	Shovi	Tbilisi	Shovi
	Season	Year		Cold		Warm	
1991-2000	$T_s, \text{ }^\circ\text{C/year}$	0.03	0.06	0.03	0.03	0.04	0.09
	$T_s(\text{Shovi})/T_s(\text{Tbilisi})$		1.8		1.1		2.3
2001-2010	$T_s, \text{ }^\circ\text{C/year}$	0.05	0.12	0.05	0.10	0.06	0.15
	$T_s(\text{Shovi})/T_s(\text{Tbilisi})$		2.3		2.0		2.6
2011-2020	$T_s, \text{ }^\circ\text{C/year}$	0.07	0.21	0.07	0.19	0.08	0.23
	$T_s(\text{Shovi})/T_s(\text{Tbilisi})$		2.9		2.7		3.0

In particular, as it is evident from Table 4, the highest increasing rate in the average maximum air temperature in Shovi in relation to Tbilisi is observed in 2011-2020 (according to annual data - 2.9 times, in the cold half of the year - 2.7 times, in the warm half of the year - 3 times).

Conclusion

Taking into account the results obtained above, in the near future we envisage conducting the urgent analysis of air temperature variability in the mountainous regions of Georgia using new data (after 2015). In the future, we also plan to further expand our work on studying the climate change impact on its various elements in different regions of Georgia, as well as predicting these changes.

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] Amiranashvili A. Changeability of Air Temperature and Atmospheric Precipitations in Tbilisi for 175 Years. // 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. 86-90, <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/8613>
- [4] Amiranashvili A. Variability of the Average Annual Air Temperature in Tbilisi Against the Background of Global Warming in 1880-2021. // II Int. Sc. Conf. “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>
- [5] Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Megrelidze L.D. Changeability of the Meteorological Parameters Associated with Some Simple Thermal Indices and Tourism Climate Index in Adjara and Kakheti (Georgia). // *Journal of the Georgian Geophysical Society*, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 21(2), Tbilisi, 2018, pp. 77-94. <http://www.adry.tsu.ge/index.php/GGS/article/view/2529>
- [6] 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>
- [7] Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Kutaladze N., Megrelidze 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, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, Tbilisi, 2023.
- [8] Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Khurodze T. Application of Some Statistic Methods for the Prognostication of Long-Term Air Temperature Changes (Tbilisi Case). // *Trans. of the Int. Sc. Conf. Dedicated to the 90th Anniversary of Georgian Technical University “Basic Paradigms in Science and Technology Development for the 21th Century”*, Tbilisi, Georgia, September 19-21, 2012, Part 2, ISBN 978-9941-20-098-4, Publishing House “Technical University”, 2012, pp. 331-338, (in Russian).
- [9] 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/>
- [10] Tielidze L., Chikhradze N., Svanadze D. Glaciers Amount and Extent Change in the Dolra River Basin in 1911-1960-2014 Years, Caucasus Mountains, Georgia, Observed with Old Topographical Maps and Landsat Satellite Imagery. // *American Journal of Climate Change*, Vol. 04, No 03, Article ID:56396, 2015, 8 p. 10.4236/ajcc.2015.43017. https://www.scirp.org/html/4-2360260_56396.htm
- [11] Tielidze L. G., Svanadze D., Gadrani L., Asanidze L., Wheate R. D., Hamilton G. S. A 54-Year Record of Changes at Chalaati and Zopkhito Glaciers, Georgian Caucasus, Observed from Archival Maps, Satellite Imagery, Drone Survey and Ground-Based Investigation. // *Hungarian Geographical Bulletin*, 69(2), 2020, pp. 175-189. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.69.2.6>
- [12] Kendall M. G. *Time-series*. // Moscow, 1981, 200 p., (in Russian).

STATISTICAL ANALYSIS OF THE NUMBER OF DAYS WITH HAIL AND DAMAGE TO AGRICULTURAL CROPS FROM IT IN KVEMO KARTLI (GEORGIA)

*Amiranashvili A., *Bolashvili N., ***Elizbarashvili E., *Liparteliani G., *Suknidze N., *Tsirgvava G.,
*Varazanashvili O.

*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
**Vakhushti Bagrationi Institute of Geography of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
***Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia
e-mail: avtandilamiranashvili@gmail.com

Abstract: A statistical analysis of data on the number of days with hail in the warm half of the year (from April to October) in 10 settlements of Kvemo Kartli (Georgia) - Bolnisi, Dmanisi, Gardabani, Manglisi, Marneuli, Rustavi, Sadakhlo, Shulaveri, Tetri Tskaro, Tsalka - is presented. The observation period is from 30 (Sadakhlo) to 93 (Bolnisi) years. In addition, an analysis of data on damaged areas of agricultural crops in 34 locations of the specified region in 1982, 1985-1989 is provided (total 56 cases with hail).

In particular, the following results were obtained. The maximum number of days with hail in the warm half-year is observed in Manglisi (16), the minimum - in Rustavi and Sadakhlo (2 each). The maximum average number of days with hail is observed in Manglisi (4.6), the minimum - in Sadakhlo (0.2).

The maximum total area of agricultural crops damaged by hail was noted in Asureti (8.15 km²), the minimum in Tbilisi (0.2 km²). The maximum area of agricultural crops damaged by hail by 100% was noted in Sadakhlo (6.18 km²), the minimum - in Tbilisi (0.07 km²). In the whole region, for one incident with hail, the total area of damage to agricultural crops was 1.64 km², and for 100% - 0.95 km².

The results of this work will be used to construct a visual map of the distribution of hail cases and hail damage of agricultural on the territory of Kvemo Kartli.

Key words: Number of days with hail, damage to agricultural crops.

Introduction

As is known, Georgia is one of the hail-dangerous regions of the world [1-3]. Therefore, both earlier and in recent years, the problem of hail in our country has been and is being given special attention. Many works are devoted to this problem, covering a wide range of studies - from hail climatology and analysis of damage from it [3-12] to modeling the distribution of hailstones according to the average maximum size in the territory of Kakheti (Georgia) [13, 14], as well as the development of ways to influence on hail processes [15].

Currently, significant assistance in intensifying research on hail processes and damage from them in Georgia is provided by the creation of the first database on natural disasters (including hail damage) for this country, accessible to a wide range of scientists [16,17].

Below, using this database, the results of studies of hail processes in Shida Kartli are presented.

Study area, material and methods

Study area – Shida Kartli (Georgia).

Data on the number of days with hail in the warm half of the year (from April to October) in 10 settlements of Kvemo Kartli (Georgia) - Bolnisi, Dmanisi, Gardabani, Manglisi, Marneuli, Rustavi, Sadakhlo, Shulaveri, Tetri Tskaro, Tsalka, and data on damaged areas of agricultural crops in 34 locations of the specified region (Akhkerpi, Algeti, Asureti, Borbalo, Colm, Darbazi, Ganakhleba, Garisi, Gulbaghi, Imirasani, Iraga, Jorgiashvili, Kapanakhchi, Khojorni, Kirovisi, Kizilajlo, Kochuli, Koda, Kveshi, Marabda, Opreti, Pakhralo, Ratevani, Sabirkendi, Sadakhlo, Samgeeti, Samshvilde, Sarachlo, Shulaveri, Tamarisi, Tbilisi, Tsereteli, Tsintskaro, Vashlovani) in 1982, 1985-1989 (total 56 cases with hail) are used [17].

In Fig. 1 locations of 10 meteorological on the territory of Shida Kartli and in Table 1 information on these stations are presented.



Fig. 1. Locations of 10 meteorological in Kvemo Kartli.

Table 1. Data on 10 meteorological stations on the territory of Shida Kartli.

Station	Bolnisi	Dmanisi	Gardabani	Manglisi	Marneuli
Latitude, N	41.45	41.33	41.45	41.7	41.48
Longitude, E	44.55	44.2	45.1	44.38	44.8
Altitude, s. l., meter	534	1309	300	1194	432
Period of observations, years	93	57	79	67	68
Station	Rustavi	Sadakhlo	Shulaveri	Tetri Tskaro	Tsalka
Latitude, N	41.55	41.25	41.32	41.55	41.6
Longitude, E	45.02	44.82	44.75	44.47	44.08
Altitude, s. l., meter	332	419	650	1151	1458
Period of observations, years	43	30	44	68	85

In particular, as follows from this Table, weather stations are located at altitudes from 300 (Gardabani) to 1458 (Tsalka) m above sea level, the observation period is from 30 (Sadakhlo) to 93 (93) years.

Note, that the altitude of the locations for which data on the areas of damage to crops was analyzed ranged from 308 (Kapanakhchi) to 1315 (Ganakhleba) meters above sea level.

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: Mean – average values; Max - maximal values; Min – minimal values; 99%_Low and 99%_Upp - respectively 99% of the lower and upper levels of the average value.

Results and discussion

Results in Table 2 and Fig. 2-4 are presented.

Table 2 presents statistical characteristics of the number of days with hail in 10 settlements of Shida Kartli, and Figure 3, for clarity, presents data on the maximum number of days with hail for these settlements.

Table 2. Statistical characteristics of number of days with hail during the warm period on 10 meteorological stations of Shida Kartli.

Station	99%_Upp	Mean	99%_Low	Station	99%_Upp	Mean	99%_Low
Bolnisi	2.0	1.6	1.2	Rustavi	0.7	0.3	0.0
Dmanisi	4.1	3.4	2.7	Sadakhlo	0.4	0.2	0.0
Gardabani	1.1	0.7	0.4	Shulaveri	1.5	1.0	0.6
Manglisi	5.5	4.6	3.6	Tetri Tskaro	4.6	3.8	3.0
Marneuli	1.0	0.6	0.3	Tsalka	4.3	3.6	2.9

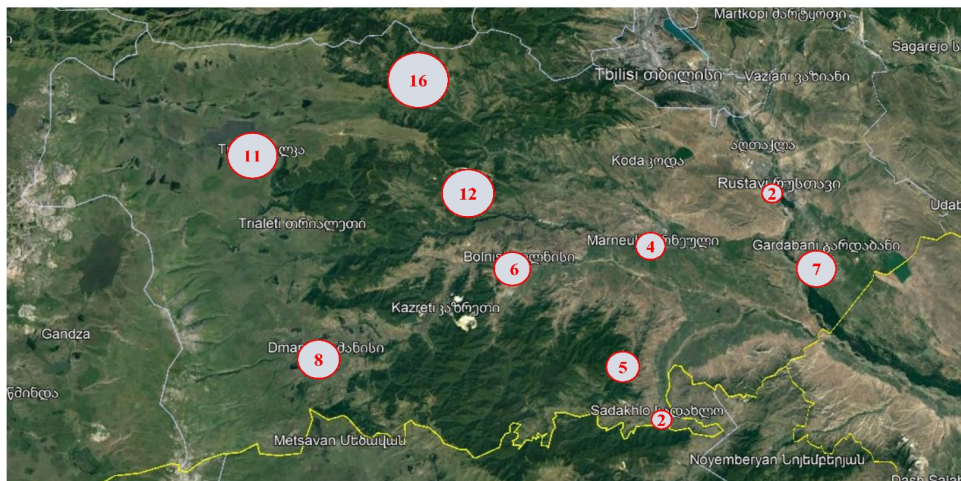


Fig. 2. Max days with hail in warm period of year on 10 meteorological stations of Shida Kartli.

In particular, Table 2 show, that the max average number of days with hail is observed in Manglisi (4.6), the min - in Sadakhlo (0.2). Fig. 2 show, that the max number of days with hail in the warm half-year is observed in Manglisi (16), the min - in Rustavi and Sadakhlo (2 each). Note, that the min number of days with hail for each station is 0.

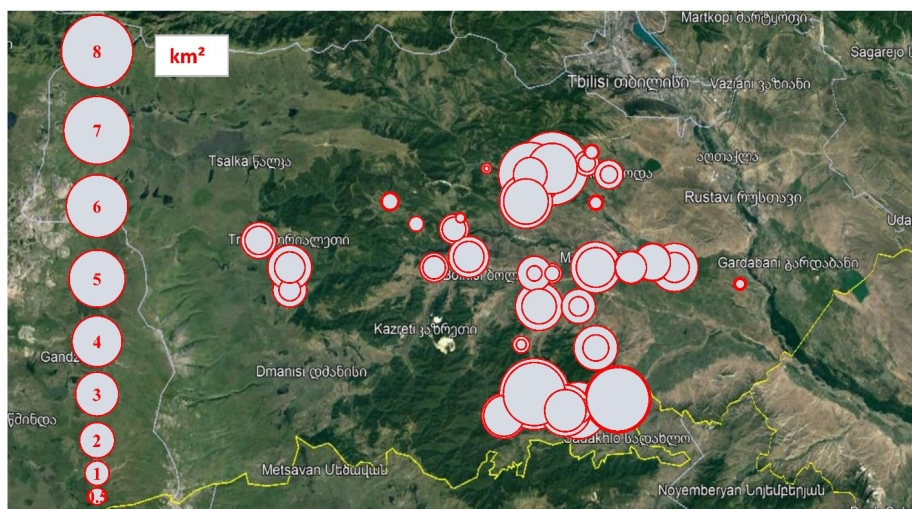


Fig. 3. Map of distribution of the total areas of agricultural crops damaged by hail and the areas damaged by hail by 100% on the territory of Kvemo Kartli.

In Fig. 3. map of distribution of the total areas of agricultural crops damaged by hail and the areas damaged by hail by 100% on the 34 locations of territory of Kvemo Kartli is presented.

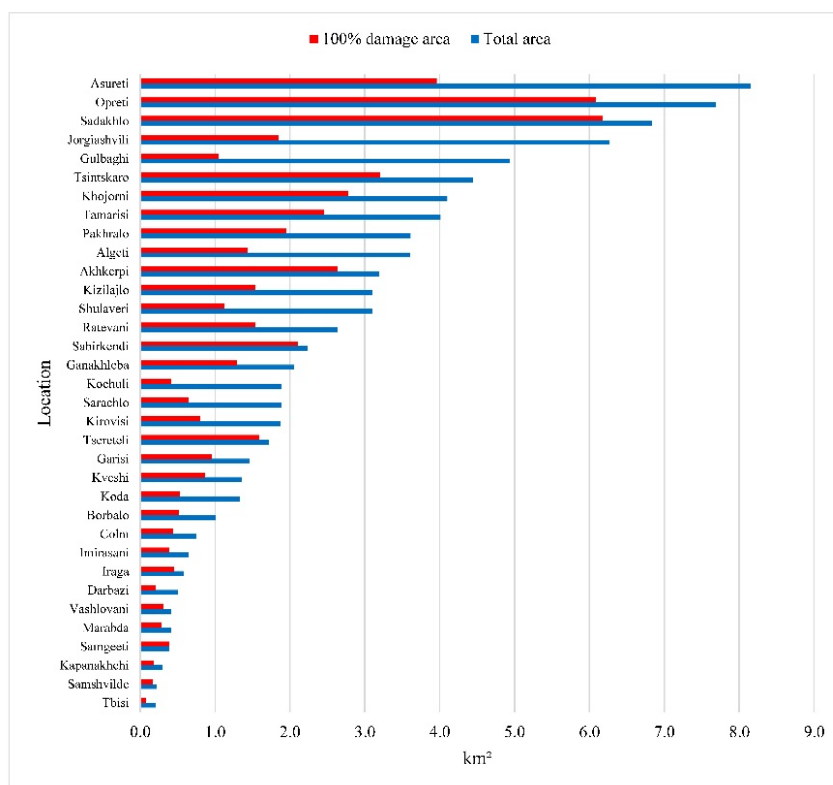


Fig. 4. Total areas of agricultural crops damaged by hail and the areas damaged by hail by 100% on the separate locations of Kvemo Kartli.

In Fig. 4 data about total areas of agricultural crops damaged by hail and the areas damaged by hail by 100% on each separate locations of Kvemo Kartli is presented.

As follows from Fig. 3 and 4 the max total area of agricultural crops damaged by hail was noted in Asureti (8.15 km²), the min in Tbilisi (0.2 km²). The max area of agricultural crops damaged by hail by 100% was noted in Sadakhlo (6.18 km²), the min - in Tbilisi (0.07 km²). In the whole region, for one incident with hail, the total area of damage to agricultural crops was 1.64 km², and for 100% - 0.95 km².

Conclusion

The results of this work will be used to construct a visual map of the distribution of hail cases and hail damage of agricultural on the territory of Kvemo Kartli.

Acknowledgments

The authors are grateful for the support of the „Natural hazards trends in Georgia: quantitative magnitude classification and hazard assessment“ project (grant agreement №FR-21-1808) funded by the Shota Rustaveli National Science Foundation (SRNSF).

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), 2021-2056, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, <http://www.springerlink.com/content/9311p18582143662/fulltext.pdf>

[2] 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. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2520224794>

- [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/10.523-40/mng.9789941334658>
- [4] Amiranashvili A.G., Nodia A.G., Toronjadze A.F., Khurodze T.V. Some Statistical Characteristics of the Number of Days with Hail into the Warm Half-Year in Georgia in 1941-1990. // Trans. of Institute of Geophysics of Acad. of Sc. of Georgia, ISSN 1512-1135, v. 58, 2004, pp. 133-141, (in Russian).
- [5] Amiranashvili A., Varazanashvili O., Nodia A., Tsereteli N., Khurodze T. Statistical Characteristics of the Number of Days with Hail Per Annum in Georgia. // Trans. of the Institute of Hydrometeorology, ISSN 1512-0902, vol. 115, Tb., 2008, pp. 427 – 433, (in Russian).
- [6] Elizbarashvili E., Amiranashvili A., Varazanashvili O., Tsereteli N., Elizbarashvili M., Elizbarashvili Sh., Pipia M. Hailstorms in the Territory of Georgia. // European Geographical Studies, Vol. 2, No. 2, 2014. Tbilisi, pp. 55-69, (in Russian).
- [7] Amiranashvili A., Dzodzuashvili U., Lomtadze J., Sauri I., Chikhladze V. Some Characteristics of Hail Processes in Kakheti. // Trans. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. 65, Tb., 2015, pp. 77 – 100, (in Russian).
- [8] Tatishvili M.R., Kartvelishvili L.G., Mkurnalidze I.P. Thunderstorm and Hail Processes over Georgian Territory. Against Global Climate Change Background. // Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Iss. B, Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, vol. 19B, Tb., 2016, pp. 111-119.
- [9] Amiranashvili A.G., Bliadze T.G., Jamrshvili N.K., Khurodze T.V., Pipia M.G., Tavidashvili Kh. Z. Comparative Analysis of the Distribution of Number of Days with Hail Per Annum on the Territory of Kakheti According to the Data of the Meteorological Stations and State Insurance Service of Georgia. // Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue A. Physics of Solid Earth, v.20A, 2017, Tbilisi, pp.44 -56.
- [10] Janelidze I., Pipia M. Hail Storms in Georgia in 2016-2018. // Int. Sc. Conf. "Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation". Proc., ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhsivili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp. 144 -146.
- [11] Amiranashvili A., Basilashvili Ts., Elizbarashvili E., Gaprindashvili G., Varazanashvili O. Statistical Analysis of the Number of Days with Hail in Georgia According to Meteorological Stations Data in 2006-2021. // Int. Conf. of Young Scientists "Modern Problems of Earth Sciences". Proceedings, ISBN 978-9941-36-044-2, Publish House of Iv. Javakhsivili Tbilisi State University, Tbilisi, November 21-22, 2022, pp. 164-168. <http://openlibrary.ge/handle/123456789/10249>
- [12] Amiranashvili A., Elizbarashvili E., Varazanashvili O., Pipia M. Statistical Analysis of the Number of Days with Hail During the warm Season in Tbilisi in 1891-2021. // Transactions IHM, GTU, vol.133, 2023, pp.74-77, (in Georgian), doi.org/10.36073/1512-0902-2023-133-74-77; <http://openlibrary.ge/bitstream/123456789/10340/1/133-14.pdf>; doi.org/10.36073/1512-0902-2023-133-74-77
- [13] Amiranashvili A., Bolashvili N., Gulashvili Z., Jamrshvili N., Suknidze N., Tavidashvili Kh. Distribution of Hail by Mean Max Size on the Territories of Municipalities of the Kakheti Region 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. Javakhsivili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 84 - 87.
- [14] Amiranashvili A.G., Bolashvili N.R., Gulashvili Z.M., Jamrshvili N.K., Suknidze N.E., Tavidashvili Kh.Z. Modeling the Distribution of Hailstones by Mean Max Sizes on the Territory of Kakheti (Georgia) using Data of the Freezing Level in the Atmosphere and 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. 24(1), 2021, pp. 25-36. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs-2420212881>
- [15] 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. Javakhsivili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp. 216-222.
- [16] Gaprindashvili G., Varazanashvili O., Elizbarashvili E., Basilashvili Ts., Amiranashvili A., Fuchs S. GeNHs: the First Natural Hazard Event Database for the Republic of Georgia. // EGU General Assembly 2023, EGU23-1614, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-1614>; <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU23/EGU23-1614.html>
- [17] 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

EXPECTED CHANGES OF THE NUMBER OF DAYS WITH HAIL IN TBILISI TO 2085

*Amiranashvili A., *Elizbarashvili E., *Pipia M., *Varazanashvili O.

*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
*Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia
e-mail: avtandilamiranashvili@gmail.com

Abstract: Predictive estimates of the number of hail days (HD) and their moving averages (for 3, 5, 7, 9 and 11 years – HD₃...HD₁₁) per warm period of year to 2050 and 2085 an example of Tbilisi was performed. Forecasting was carried out using the AAA version of the exponential smoothing (ETS) algorithm taking into account the periodicity in the pre-forecast time series. In particular, the following results were obtained.

For the time series of the measured number of days with hail and HD₁₁ years, no pronounced peak in periodicity is observed. For time series HD₃, the periodicity is 14 years, HD₅ – 32 years, HD₇ and HD₉ – 31 years.

In the period from 2022 to 2050, the range of variability of the average values of the central points of the forecast for the number of days with hail and the values of their 95% upper level is as follows: HD – from 0.9 to 3.8, HD₃ – from 1.0 to 3.0, HD₁₁ – from 1.0 to 1.6. In the period from 2022 to 2085, the range of variability of the average values of the central points of the forecast for the number of days with hail and the values of their 95% upper level is as follows: HD₅ – from 0.4 to 3.0, HD₇ – from 0.7 to 1.8, HD₉ – from 0.5 to 3.

Key words: Number of days with hail, moving average, long-time predicted.

Introduction

The study of hail processes in Georgia, as one of the hail-prone regions of the world [1-3], has always attracted the attention of specialists in this country in meteorology, climatology and atmospheric physics. A large number of works are devoted to this problem, covering a wide range of studies, such as: hail climatology and analysis of damage from it [1-5], modeling and mapping the distribution of hailstones by average maximum size in the territory of Kakheti (Georgia) [6, 7], development ways to influence hail processes [8], etc.

Currently, significant assistance in intensifying these studies is provided by the creation of the first database for Georgia on natural disasters (including hail processes), accessible to a wide range of scientists [9].

Using this database, a number of new studies of hail processes in Georgia have already been carried out [10-12].

In particular, in [11] some results of a statistical analysis of the number of days with hail during the warm half-year in Tbilisi from 1891 to 2021 are presented. The temporal variability of the measured values of the number of days with hail, as well as the moving averages of the number of hail days for 3, 5, 7, 9, and 11 years, has been studied. It is found that the time course of all the indicated series of observations is negative and is described by the linear regression equation. At the same time, the level of linear correlation between years and the measured number of days with hail, as well as moving averages of the number of hail days, increases as the averaging range increases up to 11 years (from -0.22 to -0.63, respectively).

This work is a continuation of the study [11]. Below an example of Tbilisi, using special statistical method, predictive estimates of the number of days with hail and its moving average values to 2050 and 2085 are given (taking into account the periodicity in the pre-forecast time series).

Study area, material and methods

Study area – Tbilisi (the capital of Georgia).

The work uses catalog data [9] on the number of days with hail in the warm season of the year (April-October) in Tbilisi from 1891 to 2021 and their estimated 3, 5, 7, 9, and 11 year moving averages, reported in a previous study [11].

Forecasting the number of hail days and their moving averages was performed using the AAA version of the exponential smoothing (ETS) algorithm taking into account the periodicity in the pre-forecast time series [13].

Analysis of forecast data was carried out using standard methods of mathematical statistics [14]. The following notations and abbreviations are used. Max – maximum value, Min – minimum value, Mean – average value, St Dev standard deviation, Cv – coefficient of variation ($Cv = 100 \cdot \text{St Dev}/\text{Mean}$, %), Count – number of forecast years.

The designations below: HD – number of days with hail, HD_Calc, HD_3_Calc... HD_11_Calc are the central points of the forecast of real HD values and their moving averages for 3, 5, 7, 9 and 11 years. HD_Upp_Calc, HD_3_Upp_Calc... HD_11_Upp_Calc – 95% upper forecast level.

The periodicity of time series was determined using the program “Mesosaur”. For the time series of the measured number of days with hail and HD_11 years, no pronounced peak in periodicity is observed. For time series HD_3, the periodicity is 14 years, HD_5 – 32 years, HD_7 and HD_9 – 31 years.

Results and discussion

Results in Fig. 1-5 and Table 1-2 are presented.

Example of variability of forecast values of the number of days with hail and its seven-year moving average in Tbilisi from 2022 to 2050 and from 2022 to 2085 respectively in Fig. 1 and 2 are presented.

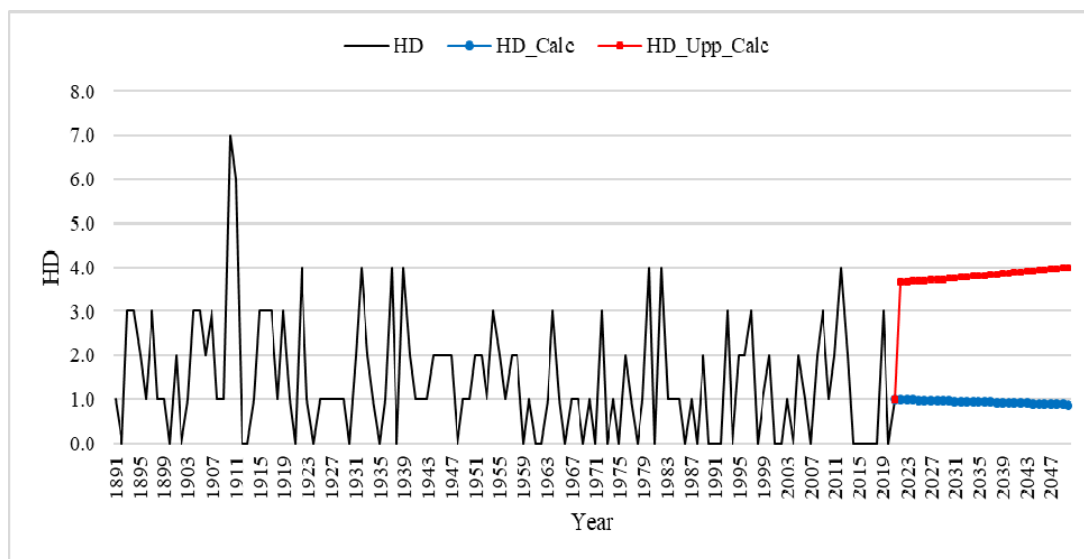


Fig. 1. Example of variability of forecast values of the number of days with hail in Tbilisi from 2022 to 2050.
HD is the original data from 1891 to 2021,
HD_Calc is the center points of the forecast and HD_Upp_Calc is the 95% upper level of the forecast.

Note that in the pre-forecast time series of the number of days with hail (Fig. 1) there is no clear peak in periodicity. In the pre-forecast time series of the seven-year moving average number of days with hail (Fig. 2), the peak periodicity occurs at 31 years. The absence and presence of periodicity is also respectively present in the calculated predictive values of the number of days with hail (Fig. 1 and 2).

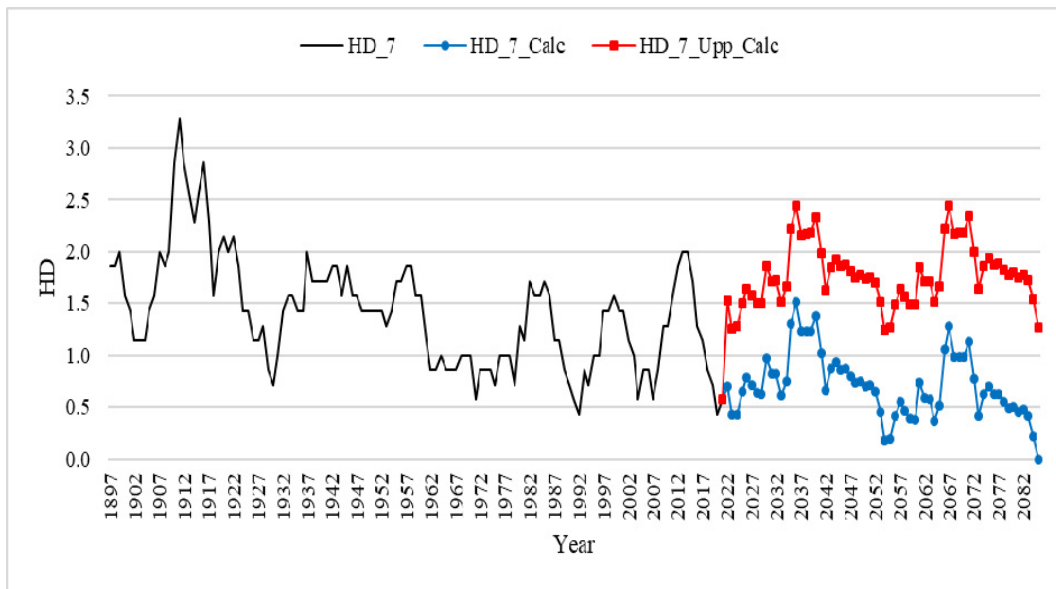


Fig. 2. Example of variability of forecast values of the seven-year moving average number of days with hail in Tbilisi from 2022 to 2085. HD_7 is the original data from 1897 to 2021, HD_7_Calc is the center points of the forecast and HD_7_Upp_Calc is the 95% upper level of the forecast.

In Table 1 statistical characteristics of the forecast values of the number of days with hail and their moving average values in Tbilisi (HD, HD_3 and HD_11 until 2050, the rest until 2085) are presented.

Table 1. Statistical characteristics of the forecast values of the number of days with hail and their moving average values in Tbilisi (HD, HD_3 and HD_11 until 2050, the rest until 2085).

	HD_Calc	HD_Upp_Calc	HD_3_Calc	HD_3_Upp_Calc	HD_5_Calc	HD_5_Upp_Calc	HD_7_Calc	HD_7_Upp_Calc	HD_9_Calc	HD_9_Upp_Calc	HD_11_Calc	HD_11_Upp_Calc
Max	1.0	4.0	1.8	3.9	1.5	4.6	1.5	2.5	1.1	4.1	1.1	1.7
Min	0.9	3.7	0.2	2.1	0.0	1.1	0.0	1.3	0.0	1.1	0.9	1.6
Mean	0.9	3.8	1.0	3.0	0.4	3.0	0.7	1.8	0.5	3.0	1.0	1.6
St Dev	0.04	0.10	0.49	0.51	0.36	0.84	0.31	0.29	0.27	0.80	0.07	0.04
Cv,%	3.8	2.6	49.8	16.8	89.9	28.1	43.5	16.4	51.0	26.7	7.0	2.2
Count	29	29	29	29	64	64	64	64	64	64	29	29

In particular, as follows from Table 1, in the period from 2022 to 2050, the range of variability of the average values of the central points of the forecast for the number of days with hail and the values of their 95% upper level is as follows: HD - from 0.9 to 3.8, HD_3 - from 1.0 to 3.0, HD_11 - from 1.0 to 1.6.

In the period from 2022 to 2085, the range of variability of the average values of the central points of the forecast for the number of days with hail and the values of their 95% upper level is as follows: HD_5 - from 0.4 to 3.0, HD_7 - from 0.7 to 1.8, HD_9 - from 0.5 to 3.0.

In Table 2 data on forecast values for the number of days with hail and their moving average values in Tbilisi at three-year intervals from 2023 to 2050 and from 2023 to 2085 are presented. Note, that the 95% lower prediction value for all cases is 0.

Table 2. Forecast values for the number of days with hail and their moving average values in Tbilisi (HD, HD_3 and HD_11 from 2023 to 2050, the rest from 2023 to 2085).

	HD_Calc	HD_Upp_Calc	HD_3_Calc	HD_3_Upp_Calc	HD_5_Calc	HD_5_Upp_Calc	HD_7_Calc	HD_7_Upp_Calc	HD_9_Calc	HD_9_Upp_Calc	HD_11_Calc	HD_11_Upp_Calc
2023	1.0	3.7	1.7	3.2	0.2	1.2	0.4	1.3	0.5	1.2	1.1	1.6
2026	1.0	3.7	1.4	3.0	0.0	1.1	0.8	1.6	0.6	1.6	1.1	1.6
2029	1.0	3.7	0.4	2.2	0.5	2.0	0.6	1.5	0.4	1.7	1.0	1.6
2032	1.0	3.8	0.5	2.4	0.5	2.2	0.8	1.7	0.7	2.2	1.0	1.6
2035	0.9	3.8	1.1	3.1	0.3	2.2	1.3	2.2	0.5	2.2	1.0	1.6
2038	0.9	3.8	1.7	3.9	1.0	3.0	1.2	2.2	1.1	3.0	1.0	1.6
2041	0.9	3.9	1.0	3.2	0.9	3.1	1.0	2.0	1.1	3.1	0.9	1.6
2044	0.9	3.9	0.2	2.6	0.3	2.6	0.9	1.9	0.6	2.8	0.9	1.7
2047	0.9	4.0	0.8	3.3	0.7	3.1	0.8	1.8	0.8	3.1	0.9	1.7
2050	0.9	4.0	1.2	3.8	0.6	3.1	0.7	1.7	0.5	3.0	0.9	1.7
2053					0.3	3.0	0.5	1.5	0.3	2.9		
2056					0.0	2.7	0.4	1.5	0.2	2.9		
2059					0.0	2.5	0.4	1.5	0.2	3.1		
2062					0.2	3.3	0.6	1.7	0.3	3.2		
2065					0.0	3.1	0.5	1.7	0.5	3.5		
2068					0.4	3.7	1.0	2.2	0.7	3.9		
2071					1.2	4.6	1.1	2.3	0.9	4.1		
2074					0.7	4.2	0.6	1.9	0.5	3.9		
2077					0.2	3.8	0.6	1.9	0.4	3.9		
2080					0.1	3.8	0.5	1.8	0.2	3.8		
2083					0.3	4.1	0.4	1.7	0.1	3.8		
2085					0.0	3.8	0.0	1.3	0.0	3.7		

Conclusion

In the future, similar forecast estimates of the number of days with hail will be carried out for other locations in Georgia.

Acknowledgments

The authors are grateful for the support of the „Natural hazards trends in Georgia: quantitative magnitude classification and hazard assessment“ project (grant agreement №FR-21-1808) funded by the Shota Rustaveli National Science Foundation (SRNSF).

Referens

- [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/9311_p18582143662/fulltext.pdf. 2013.
- [2] Berdzenishvili N., Kirkitadze D. Review of Some Studies of Hail and Thunderstorm Processes in Georgia. // *Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics*, ISSN 1512-1135, vol. LXXV, 2022, pp. 57 – 75, <http://openlibrary.ge/handle/123456789/10301>
- [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] Beglarashvili N., Janelidze I., Pipia M., Varamashvili N. Hail Storms in Kakheti (Georgia) in 2014-2018. // *Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“*, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 176-179.
- [5] Amiranashvili A.G., Bliadze T.G., Jamrlishvili N.K., Khurodze T.V., Pipia M.G., Tavidashvili Kh. Z. Comparative Analysis of the Distribution of Number of Days with Hail Per Annum on the Territory of Kakheti According to the Data of the Meteorological Stations and State Insurance Service of Georgia. // *Journal of the Georgian Geophysical Society*, Issue A. Physics of Solid Earth, v.20A, 2017, Tbilisi, pp.44 -56.
- [6] Amiranashvili A., Bolashvili N., Gulashvili Z., Jamrlishvili N., Suknidze N., Tavidashvili Kh. Distribution of Hail by Mean Max Size on the Territories of Municipalities of the Kakheti Region 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. 84 - 87.
- [7] Amiranashvili A.G., Bolashvili N.R., Gulashvili Z.M., Jamrlishvili N.K., Suknidze N.E., Tavidashvili Kh.Z. Modeling the Distribution of Hailstones by Mean Max Sizes on the Territory of Kakheti (Georgia) using Data of the Freezing Level in the Atmosphere and 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. 24(1), 2021, pp. 25-36. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420212881>
- [8] 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>
- [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>; DOI: 10.13140/RG.2.2.12474.57286
- [10] Amiranashvili A., Basilashvili Ts., Elizbarashvili E., Gaprindashvili G., Varazanashvili O. Statistical Analysis of the Number of Days with Hail in Georgia According to Meteorological Stations Data in 2006-2021. // *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. 164-168. <http://openlibrary.ge/handle/123456789/10249>
- [11] Amiranashvili A., Elizbarashvili E., Varazanashvili O., Pipia M. Statistical Analysis of the Number of Days with Hail During the warm Season in Tbilisi in 1891-2021. // *Transactions IHM, GTU*, vol.133, 2023, pp.74-77, (in Georgian), doi.org/10.36073/1512-0902-2023-133-74-77; <http://openlibrary.ge/bitstream/123456789/10340/1/133-14.pdf>; doi.org/10.36073/1512-0902-2023-133-74-77
- [12] 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, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, Tbilisi, 2023.
- [13] Box G.E.P, Jenkins G.M., Reinsel G.C. *Time Series Analysis: Forecasting & Control* (3rd Edition). ISBN10: 0130607746, ISBN13: 9780130607744. Prentice Hall, 1994, 592 p.
- [14] 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.

ANALYSIS OF STRONG PRECIPITATION IN TBILISI ON AUGUST 29, 2023

*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 Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*

****Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia*

beglarashvilinani@yahoo.com

Abstract: Precipitation of more than 100 mm per day falls very rarely in Tbilisi (several cases in the last 120 years). On August 29, 2023, this incident repeated itself. In this work an analysis of this rare phenomenon for Tbilisi is presented.

Key Words: atmospheric precipitation, flooding, flood.

Introduction

The study of the intensity and distribution of precipitation in Georgia has always been the most pressing problem among known atmospheric phenomena [1-5]. This has become even more relevant against the background of the ongoing process of climate warming [6]. Heavy precipitation leads to floods, landslides, mudflows, damage to vegetation, etc. [7-10]. Their deficiency contributes to droughts, desertification, decreased agricultural yields and other negative processes [6,7].

Floods due to heavy rainfall most often occur in western Georgia, although in its eastern part, including Tbilisi, these processes are not so rare [7-9]. For example, a heavy rainfall in the vicinity of Akhaldaba (a suburb of Tbilisi) led to a landslide, which subsequently provoked a catastrophic flood in Tbilisi on June 13-14, 2015 [10-12].

Floods due to heavy rainfall most often occur in western Georgia, although in its eastern part, including Tbilisi, these processes are not so rare [7-9]. For example, a heavy rainfall in the vicinity of Akhaldaba (a suburb of Tbilisi) led to a landslide, which subsequently provoked a catastrophic flood in Tbilisi on June 13-14, 2015, and were 20 people confirmed dead [10-12; https://en.wikipedia.org/wiki/2015_Tbilisi_flood].

Precipitation of more than 100 mm per day falls very rarely in Tbilisi (several cases in the last 120 years [5,12]). However, on August 29, 2023, this incident repeated itself. Below is an analysis of this rare phenomenon for Tbilisi.

Study area, material and methods

Study area – Tbilisi. The following information are used.

Data of Georgian National Environmental Agency, Hydrometeorology Laboratory of Tbilisi State University and satellite observation data [https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=GPM_3IMERGM] about the daily sum of atmospheric precipitation

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].

Lightning data from [https://www.blitzortung.org/ru/live_lightning_maps.php?map=42].

In this work Total Totals Index (TT) and K Index stability of the atmosphere are used.

$$TT = T_{850} + T_{a850} - 2 \cdot T_{500}; K = T_{850} - T_{500} + T_{a850} - T_{700} + T_{a700}, \text{ in degrees } C.$$

where T represents temperature and T_a represents dew point temperature at the indicated level (500, 700, and 850 mb).

Results and discussion

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

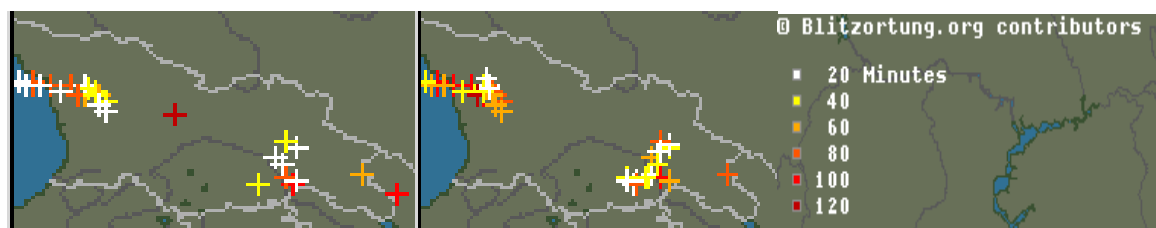
In Table 1 data about TT and K Indexes for Tbilisi from 04 hour, 29.08.2023 to 01 hour, 30.08.2023 are presented.

Table 1. TT and K Indexes for Tbilisi from 04 hour, 29.08.2023 to 01 hour, 30.08.2023.

Time/Date	TT	Qualitative Assessment	K	Qualitative Assessment
04.29.08.2023	48	Scattered Thunderstorms/Isolated Severe.	33	Numerous Thunderstorms. Heavy rain.
07.29.08.2023	48	Scattered Thunderstorms/Isolated Severe.	33	Numerous Thunderstorms. Heavy rain.
10.29.08.2023	50	Scattered Thunderstorms. Few Severe. Isolated Tornadoes.	35	Numerous Thunderstorms. Heavy rain.
13.29.08.2023	53	Numerous Thunderstorms. Scattered Tornadoes.	40	Very Unstable. Thunderstorms Very Likely. Very heavy rain.
16.29.08.2023	52	Scattered Numerous Thunderstorms. Few Scattered Severe. Isolated Tornadoes.	41	Extremely Unstable. 100% Chance of Thunderstorms. Very heavy rain.
19.29.08.2023	48	Scattered Thunderstorms/Isolated Severe.	37	Very Unstable. Thunderstorms Very Likely. Heavy rain.
22.29.08.2023	47	Scattered Thunderstorms/Isolated Severe.	37	Very Unstable. Thunderstorms Very Likely. Heavy rain.
01.30.08.2023	45	Scattered Thunderstorms.	35	Numerous Thunderstorms. Heavy rain.

As follows from Table 1, during the studied period of time, an unstable atmosphere was generally observed over Tbilisi. The TT index value varied from 45 (Scattered Thunderstorms.) to 53 (Numerous Thunderstorms. Scattered Tornadoes.), and the K index - from 33 (Numerous Thunderstorms. Heavy rain.) to 41 (Extremely Unstable. 100% Chance of Thunderstorms. Very heavy rain.). It should be noted that an unstable atmosphere was also observed over the territory of western Georgia.

Accordingly, during the indicated period of time, thunderstorms with heavy precipitation were observed over various parts of the territory of Georgia (including Tbilisi).



29.08.2023, 22.00 hour 29.08.2023, 22.30 hour Scale

Fig. 1. An example of the distribution of lightning discharges over the territory of Georgia on August 29, 2023 at 22.00 and 22.30 hours.

In Fig. 1 an example of the distribution of lightning discharges over the territory of Georgia (including Tbilisi) on August 29, 2023 at 22.00 and 22.30 hours.

On this day, precipitation was observed almost throughout the entire territory of Georgia.

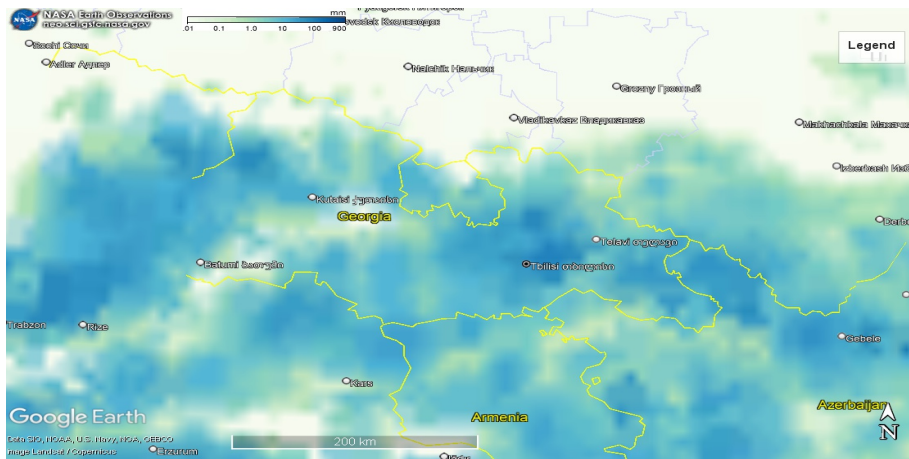


Fig. 2. Distribution of daily sum of atmospheric precipitations on the territory of Georgia at August 29, 2023.

In Fig. 2 satellite data about distribution of daily sum of atmospheric precipitations on the territory of Georgia at August 29, 2023 is presented.

According to the data of the Hydrometeorology Laboratory of TSU (H/S Svanidze), the amount of precipitation yesterday is equal to 104.4 mm; Hydrometeorology Observatory of National Environmental Agency - 113 mm; satellite data – 45 mm (averaging per 100 km²).

The rain started at approximately 20:00 Tbilisi time and lasted for three hours. As a result of the rain on August 29, 2023, streets, underground passages, cars, including public transport, were flooded, power lines were damaged, trees were knocked down, and landslide processes intensified in different parts of Tbilisi. Roofs leaked in some apartment buildings. In addition, water leaked into the Tbilisi International Airport building and metro tunnels (Fig. 3).

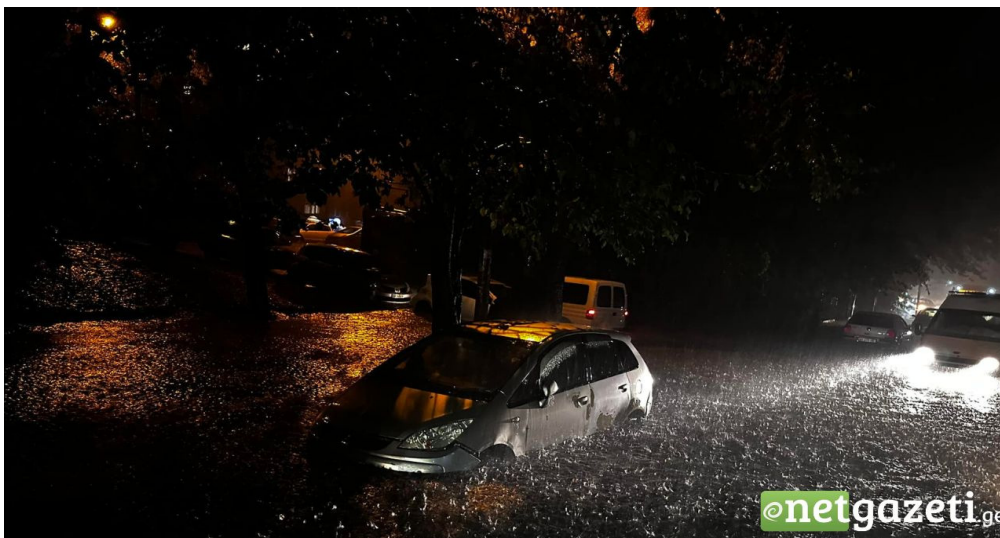


Fig. 3. An example of flooding of one of the streets of the city of Tbilisi during heavy rain on August 29, 2023
[\[https://netgazeti.ge/news/685793/\]](https://netgazeti.ge/news/685793/).

Note, that in Tbilisi according to meteorological stations precipitation of more than 100 mm per day from 1901 to 2020 only 5 times was observed [5,12]: May 11, 1940 (109.2 mm); June 17, 1948 (125.6 mm); August 16, 1955 (147.2 mm, max in the last 120 years); June 8, 1972 (130.1 mm); June 30, 1997 (117.7 mm).

On June 13, 2015 (Akhaldaba landslide), according to the weather station, the daily precipitation amounted to 49.3 mm. However, according to meteorological radar data, the amount of precipitation over the center of the top of the landslide from 21.00 to 22.33 hours exceeded 53 mm, and from 21.00 to 23.58 hours – 134 mm [12].

Conclusion

In the future, we plan to continue similar studies both for Tbilisi and other regions of Georgia, taking into account 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 განაცხადების 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; <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>

ქარის საშუალო სიჩქარის ცვლილება კლიმატის ცვლილების ფონზე (თბილისის მაგალითზე)

ხომასურიძე გ., ლალიძე ლ.

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო
khomagio@gmail.com

ანოტაცია. კლიმატის ცვლილება და მისგან გამოწვეული უარყოფითი შედეგები თანამედროვე სამყაროს უმთავრეს გამოწვევად იქცა. კლიმატური პარამეტრების მონაცემები მნიშვნელოვნად არის შეცვლილი როგორც საქართველოში, ასევე მის დედაქალაქში. სტიქიურმა განაშენიანებამ, გაზრდილმა სატრანსპორტო ნაკადმა, მწვანე ზონების შემცირებამ გააუარესა ჰაერის ხარისხი.

ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევა ეხება ქალაქ თბილისის ქარის საშუალო სიჩქარის ცვლილების შეფასებას კლიმატის ცვლილების ფონზე. კვლევისთვის გამოვიყენეთ გარემოს ეროვნული სააგენტოს 1972-2021 წწ. დაკვირვების მონაცემები. 10-წლიანი პერიოდების მიხედვით შევასეთ ქალაქ თბილისში ქარის საშუალო სიჩქარის ცვლილება: თვეების, სეზონების, წელიწადის და წრფივი აპროქსიმაციის ტრენდით დაკვირვების მთლიან პერიოდში. ავად შესაბამისი ცხრილები და გრაფიკები.

I-V პერიოდებს შორის ქარის საშუალო სიჩქარე ზამთრის პერიოდში მოიმატა 0.43 მ/წმ-ით, გაზაფხულის პერიოდში მოიმატა 0.50 მ/წმ-ით, ზაფხულის პერიოდში მოიმატა 0.53 მ/წმ-ით, შემოდგომის პერიოდში მოიმატა 0.30 მ/წმ-ით, მთლიან პერიოდში მოიმატა 0.44 მ/წმ-ით. წრფივი აპროქსიმაციის ტრენდით 1972-2021 წწ. ქარის საშუალო სიჩქარე მოიმატა 1.08 მ/წმ-დან 1.97 მ/წმ-მდე, ე. ი. მოიმატა 0.89 მ/წმ-ით, ანუ 82.93%-ით.

კლიმატის ცვლილების შეფასებისთვის ქარის საშუალო სიჩქარის ცვლილების განსაზღვრა ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორია. კვლევის შედეგები სასურველია გათვალისწინებული იყოს ურბანული დაგეგმარებისას, ასევე დედაქალაქის სხვადასხვა სამსახურების მიერ.

საკვანძო სიტყვები: კლიმატის ცვლილება, ქარის საშუალო სიჩქარე, თბილისი

შესავალი

კლიმატის ცვლილება და მისგან გამოწვეული უარყოფითი შედეგები თანამედროვე სამყაროს უმთავრეს გამოწვევად იქცა. ცვლილებები გარემოში, რომელიც უმეტესწილად ადამიანის გაუაზრებელი საქმიანობის და ბუნებაზე დამპყრობლური მიდგომით არის გამოწვეული, უკვე საგრძნობი დოზით აისახება ჩვენს ყოველდღიურობაზე. [1, 4, 6]

კლიმატური პარამეტრების მონაცემები მნიშვნელოვნად არის შეცვლილი, როგორც საქართველოში, ასევე მის დედაქალაქში. ქალაქის სტიქიურმა განაშენიანებამ, გაზრდილმა სატრანსპორტო ნაკადმა, გამწვანებული ზონების შემცირებამ, მკვეთრად გააუარესა ჰაერის ხარისხი, გამოიწვია სითბური ტალღების ინტენსივობის გაზრდა და სითბოს კუნძულების გაფართოება [1, 4, 7].

ქალაქის დაბინძურებული ჰაერის ვენტელაციისთვის დიდი როლი ენიჭება ქარებს. ამ როლს ძირითადად ასრულებს ჩრდილო-დასავლეთის მიმართულების ქარები, რომელსაც ქალაქში სუფთა ჰაერი შემოაქვთ (თუმცა დაბინძურებული ჰაერი გადააქვთ ქალაქის სამხრეთ-აღმოსავლეთ გარეუბნებისკენ). რაც შეეხება სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულების ქარებს, რომლებიც საკმაოდ ხშირია თბილისში, განსაკუთრებით ზაფხულის თვეებში ის ჩვეულებრივად სუსტია, ამიტომ ქალაქის ვენტელაციას ხელს ვერ უწყობს. დასავლეთიდან ან ჩრდილო-დასავლეთიდან შემოჭრილი ჰაერის მასები, რომლებიც საქართველოში ხმელთაშუა ზღვის ციკლონების ზურგში ან ანტიციკლონებით შემოიჭრებიან, თბილისში იწვევენ დაღმავალ პროცესებს და შესაბამისად ძლიერ ქარებს. ხოლო ზამთარში, როდესაც აღმოსავლეთიდან შემოჭრა დაკავშირებულია ციმბირის ანტიციკლონის მოქმედებასთან, ის დედაქალაქში იწვევს

აცივებას, მცირენალექიან ამინდს სუსტი ქარებით. წლის თბილ პერიოდში, (განსაკუთრებით ზაფხულში), როდესაც ციმბირის ანტიციკლონის მოქმედება წყდება, ხშირია სამხრეთიდან თბილი ჰაერის შემოჭრა, რაც იწვევს უღრუბლო ამინდს, სუსტი მაგრამ ცხელი ქარებით.

გარდა ზემოაღნიშნულისა ქარების რეჟიმზე გავლენას ახდენს ასევე რელიეფის თავისებურება, ხეობების და ქედების სხვადასხვა მიმართულებები, რაც იწვევს ჰაერის მასების პირვანდელი სიჩქარის და მიმართულების შეცვლას [3, 4, 5].

კვლევის მეთოდიკა

თბილისის ქარის საშუალო სიჩქარის ცვლილების დასადგენად გამოვიყენეთ გარემოს ეროვნული სააგენტოს მეტეოროლოგიური სადგურის დაკვირვების მონაცემები 1972-2021 წლებში. კვლევის ჩასატარებლად დაკვირვების მონაცემები დავყავით 10 წლიან პერიოდებად 1972-1981, 1982-1991, 1992-2001, 2002-2011, 2012-2021. აღნიშნული პერიოდებისათვის, ქარის საშუალო სიჩქარის მონაცემების მიხედვით შევადგინეთ ცხრილები: 10 წლიანი პერიოდის ქარის საშუალო სიჩქარის რიგები თვეების მიხედვით (ცხრ.1; ნახ.1).

ცხრილი 1. თბილისი. ქარის საშუალო სიჩქარე 1972-2021 წწ. (10 წლიანი პერიოდები)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	საშუალო
1972-1981	1.12	1.29	1.68	1.77	1.55	1.53	1.79	1.44	1.31	1.15	1.20	1.02	1.40
1982-1991	0.73	0.80	0.96	0.90	1.12	0.97	1.01	1.03	1.12	0.68	0.55	0.63	0.88
1992-2001	1.23	1.58	1.66	1.63	1.82	2.16	1.91	1.99	1.81	1.65	1.38	1.02	1.65
2002-2011	1.50	1.98	2.47	2.28	2.17	2.29	1.98	1.74	1.67	1.40	1.25	1.29	1.84
2012-2021	1.38	1.83	2.34	2.25	1.91	2.11	2.19	2.04	1.93	1.39	1.23	1.50	1.84
საშუალო	1.19	1.50	1.82	1.77	1.71	1.81	1.78	1.65	1.57	1.25	1.12	1.09	1.52

ცხრილის ანალიზი (ცხრ.1, ნახ.1.) გვიჩვენებს, რომ კლიმატის გლობალური ცვლილების ზეგავლენით თბილისის მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემებით 1972 წლიდან 2021 წლამდე (50 წლიან პერიოდში), ქარის საშუალო სიჩქარე (10 წლიანი პერიოდების მიხედვით) განიცდის შემდგომ ცვლილებებს: 1972-2021 წწ. ქარის საშუალო სიჩქარის სიდიდე იცვლება 0.55 მ/წმ ÷ 2.47 მ/წმ (ამპლიტუდა შეადგენს 1,92 მ/წმ -ს).

I პერიოდში, (1972-1981) წლების განმავლობაში, ქარის საშუალო სიჩქარე იცვლება 1.02 მ/წმ ÷ 1.79 მ/წმ. ამპლიტუდა შეადგენს 0.77 მ/წმ-ს. მაქსიმალური სიდიდე აღინიშნა ივნისში 1.79 მ/წმ მინიმალური სიდიდე დეკემბერში 1.02 მ/წმ. ზამთრის პერიოდში ქარის საშუალო სიჩქარე იცვლება 1.02 მ/წმ ÷ 1.29 მ/წმ; გაზაფხულზე 1.55 მ/წმ ÷ 1.77 მ/წმ; ზაფხულში 1.44 მ/წმ ÷ 1.79 მ/წმ, ხოლო შემოდგომის პერიოდში 1.15 მ/წმ ÷ 1.31 მ/წმ. აღნიშნული პერიოდის საშუალო სიდიდე 1.4 მ/წმ-ია.

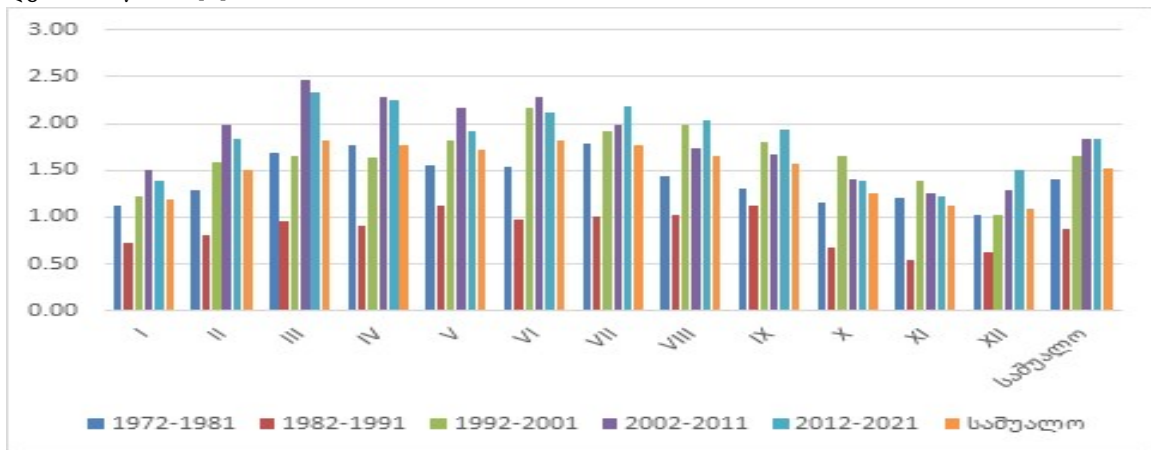
II პერიოდის (1982-1991წწ.) ქარის საშუალო სიჩქარე წლის განმავლობაში იცვლება 0.55 მ/წმ ÷ 1.12 მ/წმ, (ამპლიტუდა შეადგენს 0.57 მ/წმ-ს), მინიმალური სიდიდე 0.55 მ/წმ-ია ნოემბერში, ხოლო მაქსიმალური 1.12 მ/წმ მაისში და სექტემბერში. ზამთრის პერიოდში იცვლება 0.63 მ/წმ ÷ 0.8 მ/წმ; გაზაფხულზე იცვლება 0.9 მ/წმ ÷ 1.12 მ/წმ; ზაფხულში 0.97 მ/წმ ÷ 1.03 მ/წმ, ხოლო შემოდგომაზე 0.55 მ/წმ ÷ 1.12 მ/წმ. ამ პერიოდის საშუალო სიდიდეა 0.88 მ/წმ.

III პერიოდის (1992-2001 წწ.) ქარის საშუალო სიჩქარე წლის განმავლობაში იცვლება 1.02 მ/წმ ÷ 2.16 მ/წმ (ამპლიტუდა შეადგენს 1.14 მ/წმ-ს), მაქსიმალური სიჩქარე აღინიშნება ივნისში 2.16 მ/წმ, მინიმალური სიდიდე 1.02 მ/წმ დეკემბერში. ზამთრის პერიოდში იცვლება 1.02 მ/წმ ÷ 1.58 მ/წმ; გაზაფხულზე

1.63 მ/წმ ÷ 1.82 მ/წმ; ზაფხულში 1.91 მ/წმ ÷ 2.16 მ/წმ, ხოლო შემოდგომაზე 1.38 მ/წმ ÷ 1.81 მ/წმ. ამ პერიოდის საშუალო სიდიდე 1.65 მ/წმ-ია.

IV პერიოდის (2002-2011 წწ.) ქარის საშუალო სიჩქარე იცვლება 1.25 მ/წმ ÷ 2.47 მ/წმ (ამპლიტუდა შეადგენს 1.22 მ/წმ-ს), მაქსიმალური აღინიშნება მარტში 2.47 მ/წმ, მინიმალური ნოემბერში 1.25 მ/წმ. ზამთრის პერიოდში ქარის საშუალო სიჩქარე იცვლება 1.29 მ/წმ ÷ 1.98 მ/წმ; გაზაფხულზე, 2.17 მ/წმ ÷ 2.47 მ/წმ; ზაფხულში 1.74 მ/წმ ÷ 2.29 მ/წმ, ხოლო შემოდგომაზე 1.25 მ/წმ ÷ 1.67 მ/წმ. IV პერიოდის საშუალო სიდიდე 1.84 მ/წმ -ია.

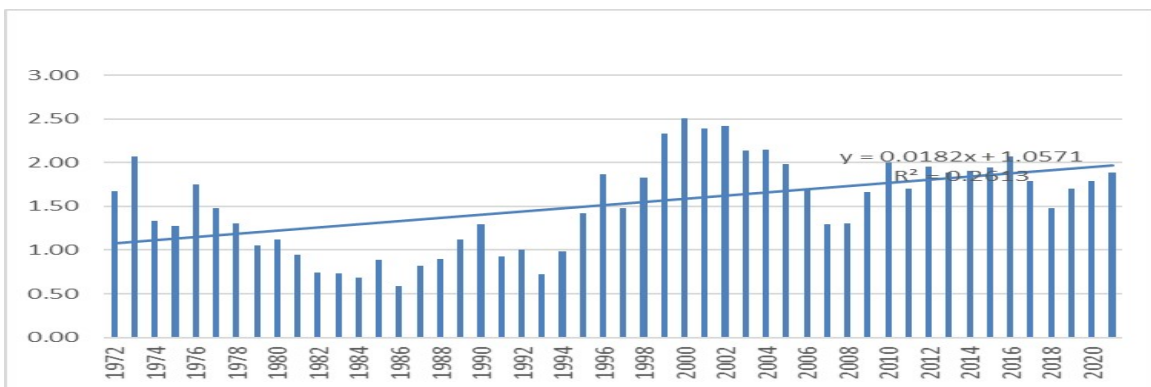
V პერიოდის (2012-2021 წწ.) ქარის საშუალო სიჩქარე იცვლება 1.23 მ/წმ ÷ 2.34 მ/წმ (ამპლიტუდა შეადგენს 1.11 მ/წმ-ს), მაქსიმალური აღინიშნება მარტში 2.34 მ/წმ, მინიმალური ნოემბერში 1.23 მ/წმ. ზამთრის პერიოდში ქარის საშუალო სიჩქარე იცვლება 1.38 მ/წმ ÷ 1.83 მ/წმ; გაზაფხულზე 1.91 მ/წმ ÷ 2.34 მ/წმ; ზაფხულში 2.04 მ/წმ ÷ 2.19 მ/წმ, ხოლო შემოდგომაზე 1.23 მ/წმ ÷ 1.93 მ/წმ. V პერიოდის საშუალო სიდიდე 1.84 მ/წმ-ია. [2]



ნახ. 1. თბილისი. ქარის საშუალო სიჩქარე 1972-2021 წწ. (10 წლიანი პერიოდები).

ძირითადი შედეგები

1972-2021 წწ., ქარის საშუალო სიჩქარის საშუალო წლიური მნიშვნელობები ათწლეულების მიხედვით (ბოლო და წინა კლიმატურ პერიოდებს შორის), I და II პერიოდამდე შემცირდა 0.53 მ/წმ-ით; II-დან III პერიოდში მოიმატა 0.78 მ/წმ-ით; III-IV პერიოდამდე მოიმატა 0.18 მ/წმ-ით; ხოლო IV-დან V პერიოდამდე კი კვლავ მოიმატა 0.01 მ/წმ-ით. მთლიან პერიოდში (1972-2021 წწ.) ქარის საშუალო სიჩქარის საშუალო სიდიდემ მოიმატა 0.44 მ/წმ-ით.



ნახ.2. თბილისი. ქარის საშუალო სიჩქარის დინამიკა 1972-2021 წწ.

თბილისის მეტეოროლოგიური სადგურის დაკვირვების მონაცემებით, წლის ქარის საშუალო სიჩქარის რეკვადობის მონაცემები გასული 50 წლის მანძილზე მოყვანილია გრაფიკზე (ნახ.2), 1972-2021 წწ მთლიან პერიოდში წრფივი აპროქსიმაციის ტრენდით ქარის საშუალო სიჩქარე იცვლება 1.08 მ/წმ ÷ 1.97 მ/წმ ე.ი 50 წლის განმავლობაში ქარის საშუალო სიჩქარემ მოიმატა 0.89 მ/წმ-ით. [2]

დასკვნა

ქარის საშუალო სიჩქარის მნიშვნელობების სხვაობამ V-I პერიოდებს შორის ყველა სეზონში განიცადა მატება. 10-წლიან პერიოდებს შორის II-III, III-IV, IV-V პერიოდებს შორის დაფიქსირდა მატება, ხოლო I-II პერიოდში კლება.

წრფივი აპროქსიმაციის ტრენდით 1972-2021 წწ ქარის სიჩქარემ მოიმატა 1.08 მ/წმ-დან 1.97 მ/წმ-მდე, ე. ი. მოიმატა 0.89 მ/წმ-ით, 82.93%-ით.

კლიმატის ცვლილების შეფასებისთვის ქარის საშუალო სიჩქარის ცვლილების განსაზღვრა ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორია, რადგან ქარებს დიდი როლი ენიჭება ქალაქის ვენტილაციაში და მისი ცვლილების გათვალისწინება აუცილებელია დედაქალაქის სხვადასხვა სამსახურების მიერ, ასევე ურბანული დაგეგმარებისას [2].

ლიტერატურა

- [1] ზლიაძე მ. მდგრადი განვითარების მიზნები. // თბილისი 2022, 165 გვ.
- [2] გარემოს ეროვნული სააგენტოს მონაცემები 1972-2021 წწ.
- [3] გელოვანი მ., ერისთავი ვ., ზედგინიძე ა. და სხვ, საქართველოს ქარის ენერგეტიკული ატლასი, 2004, 183 გვ. // energy.gov.ge
- [4] გოგიშვილი ვ. თბილისის კლიმატი, 1960, 40 გვ.
- [5] თბილისის ქარის ელექტროსადგურის პროექტი, სკოპინგის ანგარიში, 2019, 162 გვ., // mepa.gov.ge
- [6] Elizbarashvili N., Matchavariani L., Nikolaishvili D., Meladze G., Geography of Georgia. // Tbilisi State University, Tbilisi, 2000.
- [7] Ningrum W. Urban Heat Island towards Urban Climate. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 118 (1), 2018, 012048.

CHANGES IN AVERAGE WIND SPEED DUE TO CLIMATE CHANGE (TBILISI AS AN EXAMPLE)

Khomasuridze G., Lagidze L.

Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
khomagio@gmail.com

Abstract. Climate change and its negative consequences have become the main challenge of the modern world. The data of climatic parameters have changed significantly both in Georgia and in its capital. Spontaneous development, increased traffic flow, reduction of green areas worsened the air quality.

The study conducted by us concerns the evaluation of the average wind speed change in the city of Tbilisi against the background of climate change. For the research, we used the observation data of the National Environment Agency for 1972-2021. According to 10-year periods, we evaluated the change of the average wind speed in the city of Tbilisi: With linear approximation trend, the sum of atmospheric precipitations in the entire period of observation. We constructed appropriate tables and graphs.

The average wind speed between I-V periods increased by 0.43 m/s in the winter period, increased by 0.50 m/s in the spring period, increased by 0.53 m/s in the summer period, increased by 0.30 m/s in the autumn period, and increased by 0.44 m/s in the whole period. With linear approximation trend 1972-2021, the average wind speed increased from 1.08 m/s to 1.97 m/s; increased by 0.89 m/s, or by 82.93%.

Determining the change in average wind speed is one of the important factors for assessment of climate change. The results of the study should be taken into account in urban planning, as well as by various services of the capital.

Key Words: Climate Change, Average Wind Speed, Tbilisi

SOME RESULTS OF STATISTICAL ANALYSIS OF THE DAILY WIND SPEED IN TBILISI IN 1971-2020

‘Beglarashvili N., ‘Jamrlishvili N., ‘‘Janelidze I., ‘‘ Pipia M., ‘‘Tavidashvili Kh., ‘Tsintsadze T.

‘Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia
‘Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
‘‘Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia
beglarashvilinani@yahoo.com

Abstract: Some results statistical analysis of the daily mean (W_{mean}) and max (W_{max}) wind speed for Tbilisi from January 1, 1971 to December 31, 2020 are presented. In 1971-2020 annual mean of W_{mean} was 1.5 m/sec, and W_{max} - 9.1 m/sec. In 1996-2020 compared with 1971-1995 annual mean of W_{mean} increased by 0.8 m/sec, and W_{max} - by 0.3 m/sec. Intraannual distribution of monthly average of daily mean and max wind speed Tbilisi in 1971-2020 has the form of a sixth power polynomial. Regression equations were obtained for the relationship between the repetition of mean daily and maximum wind speed in Tbilisi with the central points of wind speed on the Beaufort Wind Scale.

Key Words: Wind speed, Beaufort Wind Scale, statistical analysis.

Introduction

As is known, the wind regime largely determines the climatic character of the area. Therefore, special attention is paid to the study of this climate-forming factor everywhere, including in Georgia [1-8]. Strong winds often destroy residential and industrial buildings, stop land and air transport, contribute to the appearance of blizzards, increase the negative consequences of other dangerous hydrometeorological phenomena (precipitation, hail, etc.), loss of life, etc. [6, 9-12]. Data on wind conditions are important for the development of wind energy, the agricultural sector of the economy, construction [1,8], etc. The level of air pollution and the formation of photochemical smog largely depend on wind speed [13]. Information about wind is important for the development of the resort and tourism industry by assessing various simple and complex bioclimatic indicators for specific territories [8,14,15].

This study is a continuation of work [7]. Below are some results of a statistical analysis of the average daily and maximum wind speed for Tbilisi from January 1, 1971 to December 31, 2020.

Study area, material and methods

Study area – Tbilisi. The data of Georgian National Environmental Agency about the daily mean and max wind speed for Tbilisi from January 1, 1971 to December 31, 2020 (18263 days) are used. Coordinates of meteorological station in Vashlijvari: Lat - 41.75785° N, Long - 44.755184° E, Elevation – 427 m a.s.l.

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; Max - maximal values; Min – minimal values; St Dev - standard deviation; σ_m - standard error; Cv – coefficient of variation = 100·St Dev/Mean, %; R^2 - coefficient of determination; R – coefficient of linear correlation; 95%(+/-) and 99%(+/-) - 95% and 99% confidence interval of the mean; W_{mean} - mean wind speed (m/sec); W_{max} - max wind speed.

Wind speed repeatability was determined in accordance with the Beaufort Wind Scale (Table 1).

Appearance of Wind Effects on Land in <https://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/beaufort.html>; <https://www.kakras.ru/interesn/wind.htm> and [7] are presented.

Table 1. Beaufort Wind Scale [<https://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/beaufort.html>; <https://www.kakras.ru/interesn/wind.htm>].

Force	Central point of wind speed, (CPWS, m/sec)	WMO Classification	Force	Central point of wind speed, (CPWS, m/sec)	WMO Classification
0	0.1	Calm	7	15.5	Near Gale
1	0.9	Light Air	8	18.95	Gale
2	2.45	Light Breeze	9	22.6	Strong Gale
3	4.4	Gentle Breeze	10	26.45	Storm
4	6.7	Moderate	11	30.55	Violent Storm
5	9.35	Fresh Breeze	12	>32.6	Hurricane
6	12.3	Strong Breeze			

Results and discussion

Results in Table 2-5 and Fig. 1,2 are presented.

In Table 2 statistical characteristics of W_{mean} and W_{max} in Tbilisi in 1971-2016, 1971-1995 and 1996-2020 are presented.

Table 2. Statistical characteristics of daily mean and max wind speed (m/sec) in Tbilisi in 1971-2016, 1971-1995 and 1996-2020 (min wind speed = 0).

Period	1971-2020		1971-1995		1996-2020	
	W_{mean}	W_{max}	W_{mean}	W_{max}	W_{mean}	W_{max}
Mean	1.5	9.1	1.1	9.0	1.9	9.3
Max	14.9	41.0	14.9	41.0	12.0	32.0
St Dev	1.5	4.6	1.3	4.6	1.5	4.6
σ_m	0.01	0.03	0.01	0.05	0.02	0.05
C_v , (%)	97.4	50.4	117.8	51.8	79.8	49.1
95%(+/-)	0.02	0.07	0.03	0.10	0.03	0.09
99%(+/-)	0.03	0.09	0.04	0.13	0.04	0.12
R	0.75		0.75		0.79	
Linear Regression	$W_{\text{max}} = a \cdot W_{\text{mean}} + b$					
Linear Regression	a	b	a	b	a	b
Equation Coefficients	2.36	5.57	2.61	5.99	2.40	4.80

In particular, as follows from Table 2, in 1971-2020 annual mean of W_{mean} was 1.5 m/sec, and W_{max} - 9.1 m/sec. In 1996-2020 compared with 1971-1995 annual mean of W_{mean} increased by 0.8 m/sec, and W_{max} - by 0.3 m/sec. Coefficient of linear correlation between W_{mean} and W_{max} change from 0.75 (1971-2020, 1971-1995) to 0.79 (1996-2020) - high correlation.

In Fig. 1 real and calculated data on intraannual distribution of monthly average of daily mean and max wind speed in Tbilisi in 1971-2020 are presented.

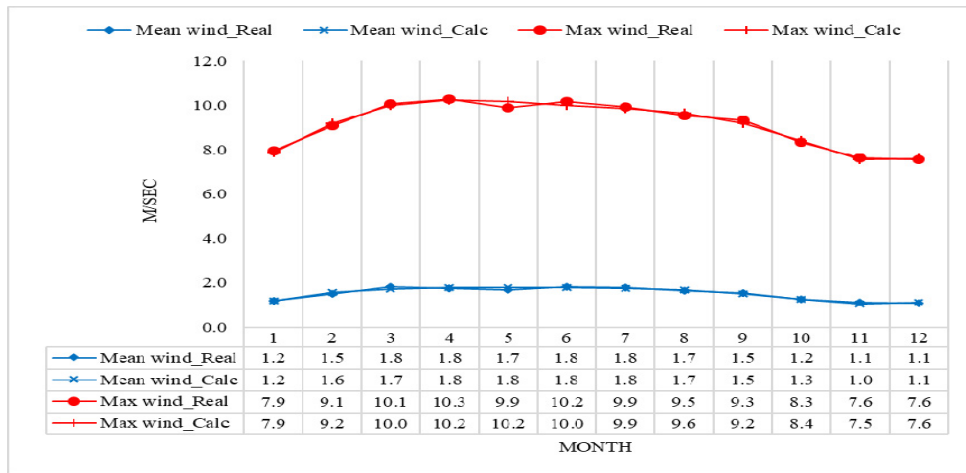


Fig. 1. Intraannual distribution of monthly average of daily mean and max wind speed Tbilisi in 1971-2020 (Real and Calc).

Table 3. Regression equation coefficients for intra-annual distribution of monthly average of daily mean and max wind speed Tbilisi in 1971-2020

Regression Equation	$Y = a \cdot X^6 + b \cdot X^5 + c \cdot X^4 + d \cdot X^3 + e \cdot X^2 + f \cdot X + g, X - \text{months}$							
Coefficient	a	b	c	d	e	f	g	R ²
W _{mean}	0.00001225	-0.00026	0.000236	0.029231	-0.27239	0.996083	0.431818	0.971
W _{max}	0.000141612	-0.00495	0.064455	-0.3755	0.78389	0.767397	6.643939	0.984

These distributions have the form of a sixth power polynomial. The corresponding regression equation coefficients are presented in Table 3.

In Table 4 data about repetition of daily mean and max wind speed in Tbilisi according to Beaufort Wind Scale are presented.

Table 4. Repetition of daily mean and max wind speed in Tbilisi according to Beaufort Wind Scale (BWS).

BWS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CPWS, m/sec	0.1	0.9	2.5	4.4	6.7	9.4	12.3	15.5	19.0	22.6	26.5	30.6	32.6
W _{mean}	17.9	44.5	26.2	9.1	2.2	0.15	0.02	0.01					
W _{max}	1.3	0.36	4.3	15.6	30.9	18.9	15.7	6.7	4.7	1.1	0.25	0.10	0.02

As follows from Table 4 W_{mean} values cover the Beaufort scale from 0 to 7, while W_{max} covers the entire scale. The maximum repeatability of W_{mean} n values falls on number 1 of the Beaufort scale (44.5%, smoke drift indicates wind direction, still wind vanes), and W_{max} - on number 4 of this scale (30.9 %, dust, leaves, and loose paper lifted, small tree branches move). The scale range of 8 and more (≥ 17.2 m/sec, gale and above, the onset of destructive processes in the environment and their intensification) accounts for about 6.2% of cases (about 23 days a year). During the entire period of research with hurricane wind as in [7] 3 cases were recorded (Beaufort scale range - 12, hurricane, wind speed > 32.6 m/sec, devastating destruction).

In Table 5 corresponding regression equation coefficients for repetition of daily mean and max wind speed in Tbilisi according to central points of wind speed of number of Beaufort Wind Scale Force in 1971-2020 are presented.

Table 5. Regression equation coefficients for repetition of daily mean and max wind speed in Tbilisi according to central points of wind speed of Beaufort Wind Scale Force in 1971-2020. X, m/sec.

Variable	W_{mean}				W_{max}			
Regression Equation	$Y = a \cdot X^b \cdot \exp(-c \cdot X)$				$Y = \exp(a + b/X + c \cdot \log(X))$			
Coefficient	a	b	c	R^2	a	b	c	R^2
	96.110491	0.693883	0.778674	1	18.5126	-	-5.21855	0.962

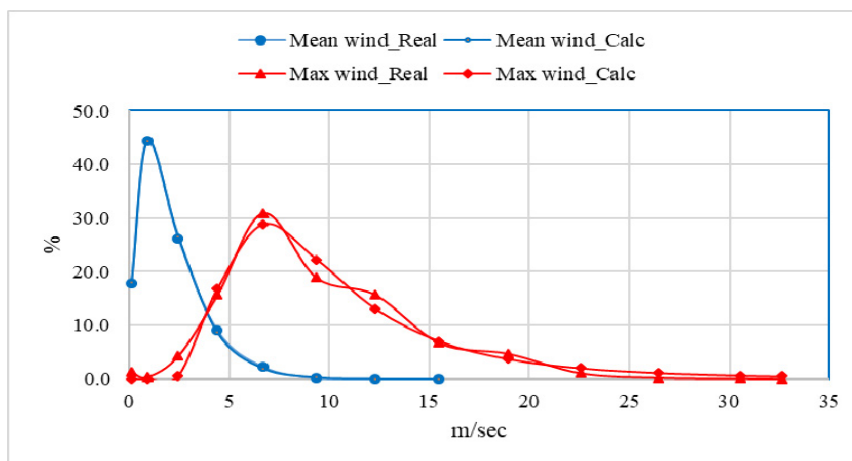


Fig. 2. Repetition of daily mean and max wind speed in Tbilisi (Real and Calc) according to central points of wind speed of Beaufort Wind Scale Force in 1971-2020.

In Fig. 2 for clarity curves of repetition of real and calculated daily mean and max wind speed in Tbilisi according to central points of wind speed of Beaufort Wind Scale Force in 1971-2020 are shown.

As follows from Table 4 and Fig. 2 real and calculated repeatability curves for average wind speed practically coincide ($R^2 = 1$). The degree of agreement between real and calculated repeatability curves for max wind speed is somewhat worse, although quite high ($R^2 = 0.962$).

Conclusion

In the future, we plan to continue similar studies both for Tbilisi and other regions of Georgia, taking into account climate change. In particular, in the near future it is planned to conduct research on the variability of wind speed in Tbilisi in various months of the year over the past 60 years.

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] Elizbarashvili E. Climate of Georgia. Monograph, Institute of Hydrometeorology of GTU, ISBN 978-9941-0-9584-9, Tbilisi, 2017, 360 p., (in Georgian).
- [2] Tavartkiladze K., Begalishvili N., Kharchilava J., Mumladze D., Amiranashvili A., Vachnadze J., Shengelia I., Amiranashvili V. Contemporary climate change in Georgia. Regime of some climate parameters and their variability. Monograph, ISBN 99928-885-4-7, Tbilisi, 2006, 177 p., (in Georgian).
- [3] Svanidze G.G., Tsutskiridze Ia. A. (edit.). Opasnie gidrometeorologicheskie protsessi na Kavkaze. L., Gidrometeoizdat., 1980, 288 p., (in Russian).
- [4] Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Gvasalia G.D., Loladze D.A. Statistical Characteristics of the Daily Max of Wind Speed in Kakheti in 2017-2019. // Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 23(1), 2020, pp. 73-86. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2320202655>

- [5] Amiranashvili A., Chikhladze V., Gvasalia G., Loladze D. Statistical Characteristics of the Daily Max of Wind Speed in Kakheti in the Days with and without Hail Processes in 2017-2019. // Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 197-201. http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/1234567-89/8808/1/Eco_2020_3.32.pdf
- [6] 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>.
- [7] Amiranashvili A., Jamrishvili 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. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, November 21-22, 2022, pp. 159-163. <http://openlibrary.ge/handle/123456789/10250>
- [8] 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/10.52-340/mng.9789941334658>
- [9] 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. <http://www.nato.int/science>; <http://www.springer.com>; <http://www.iospress.nl>
- [10] Chikhladze V., Amiranashvili A., Gelovani G., Tavidashvili Kh., Laghidze L., Jamrishvili N. Assessment of the Destructive Power of a Tornado on the Territory of the Poti Terminal on September 25, 2021. // II Int. Sc. Conf. “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. 275-281, (in Georgian). <http://www.dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10120>
- [11] 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>
- [12] 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.
- [13] Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V. Photochemical smog in Tbilisi. Monograph, Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. 63, Tb., 2012, 160 p., (in Georgian).
- [14] Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A. Saakashvili N.M., Tabidze M.Sh., Tarkhan-Mouravi I.D. Bioclimatic Characteristics of Recreational Zones – Important Component of the Passport of the Health Resort – Tourist Potential of Georgia. // Transactions of the Institute of Hydrometeorology at the Georgian Technical University, vol. 117, ISSN 1512-0902, 2011, pp. 89-92.
- [15] Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Megrelidze L.D. Changeability of the Meteorological Parameters Associated with Some Simple Thermal Indices and Tourism Climate Index in Adjara and Kakheti (Georgia). // Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 21(2), Tbilisi, 2018, pp. 77-94.
- [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.

ძლიერი ქარების შესახებ კახეთის რეგიონში

*ელიზბარაშვილი ე., **ვარაზანაშვილი ო., ***ლალიძე ლ., **ფიფია მ., *ჩიხლაძე ვ.

**ზიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, სტუ, თბილისი, საქართველო*
***მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო*
****ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო*
vicachikh@gmail.com

ანოტაცია. ნაშრომში წარმოდგენილია კახეთის რეგიონში ძლიერი ქარების კატალოგური მონაცემების განხილვა ცალკეული მეტეოსადგურების და თვეების მიხედვით. მოყვანილია კატალოგში არ შესული ქარების შემთხვევები. განხილულია საკითხი ქარის წნევის შესახებ. შემოთავაზებულია ქარის წნევის მაქსიმალური მნიშვნელობის გამზომი - რეგისტრატორის იდეა.

საკვანძო სიტყვები: ქარი, ძლიერი ქარი, ქარის სიჩქარე, ქარის წნევა, ანემომეტრი, გაზომვა.

შესავალი

ქარი — ეს არის ჰაერის ნაკადი, რომელიც გადაადგილდება დედამიწის ზედაპირთან. ქარი ჩნდება ატმოსფერული წნევის არათანაბარი განაწილების გამო, იგი მიმართულია მაღალი წნევის არესგან დაბალი წნევის ზონისკენ. ჰაერის წნევის, დროსა და სივრცეში უწყვეტი ცვლადობის გამო, ქარის სიჩქარე და მიმართულება აგრეთვე მუდმივად იცვლება. ქარების კლასიფიკაციას ახდენენ მათი ძალის, ხანგრძლივობის და მიმართულების მიხედვით. ჩვენ განვიხილავთ, ჭარბობს ძირითადად დასავლეთის, უფრო ზუსტად კი სამხრეთ-დასავლეთის ქარები. ეს ყველაზე ძლიერი ქარებია ზამთარში და ყველაზე სუსტი ზაფხულში [1-6]. რაც შეეხება ხანგრძლივობას - სწრაფი ქარის ხანმოკლე პერიოდები (რამდენიმე წამი), რომლის დროსაც ქარის სიჩქარე 10 წუთის განმავლობაში გასაშუალებულ სიჩქარეს არა ნაკლებ 10 კვანძით აჭარბებს, წაქროლვად ითვლება. საშუალო ხანგრძლივობის (დაახლოებით 1 წუთი) ქარებს, როდესაც გარკვეულ ზღვარზე მეტი ქარის გაორმაგებული სიჩქარე დაიკვირვება, შკვალებს უწოდებენ [8].

უშუალოდ ქარის სიჩქარის გასაზომად, იყენებენ მრავალი სახეობის ანემომეტრებს, რომლებშიც მბრუნავი ჯამები ან პროპელერი გამოიყენება. მსოფლიოს ქვეყნების უმეტესობაში [9] მეტეოსადგურებზე ქარის სიჩქარე, როგორც წესი, იზომება 10 მეტრის სიმაღლეზე და 10 წუთის მნიშვნელობებს ასაშუალებენ. გასაშუალების პერიოდი მნიშვნელოვანია, მაგალითად, ვინაიდან მუდმივი ქარის სიჩქარე, გაზომილი 1 წუთის განმავლობაში, როგორც წესი, 14%-ით მეტია, ვიდრე გაზომილი 10 წუთში.

ქარის სიჩქარის გამოსაკვლევად ბევრ წერტილებში იყენებენ ზონდებს, ამ დროს სიჩქარე დგინდება GPS-ით, ან რადიონავიგაციით ან ზონდის კოორდინატები რადარით ან თეოდოლიტით დგინდება. ამის გარდა ამჟამად სოდარებს, დოპლერის ლიდარებს ან ისეთ რადარებს იყენებენ, რომლებსაც შეუძლიათ აეროზოლური ნაწილაკებისგან ან ჰაერის მოლეკულებისგან გაზნეული ან არეკლილი ელექტრომაგნიტური გამოსხივების დოპლერული წანაცვლების გაზომვა.

ბოფორტის შკვალით შტორმი შეესაბამება ქარის სიჩქარეს (10 წუთში გასაშუალებულს და კვანძების მთელ რიცხვამდე დამრგვალებულს) 41-დან 63 კვანძამდე (20,8—32,7 მ/წმ-მდე), ამასთან ეს დიაპაზონი სამ ქვეკატეგორიით იყოფა ზედსართავი სახელებით „ძლიერი“ და „სასტიკი“ დახმარებით.

კახეთის ტერიტორიაზე ძლიერი ქარების სივრცითი განაწილების დასადგენად ვისარგებლეთ კატალოგით [7]. ვიცით, რომ მასში მოცემულია მხოლოდ ის, რომ ქარის სიჩქარე 30 მ/წმ-ში სიჩქარეს აღემატება, მაგრამ, როგორც ჩანს, სადგურებზე არსებული ანემომეტრების გამო ზღვარი უცნობია. ამიტომ

წარმოვადგინეთ ბოფორტის სკალის მცირე ამონარიდი, სადაც მოცემულია 28,5 – 32,6 და 32,7 მ/წმ-ში და მეტი სიჩქარის მქონე ქარების მახასიათებლები.

ცხრილი 1.

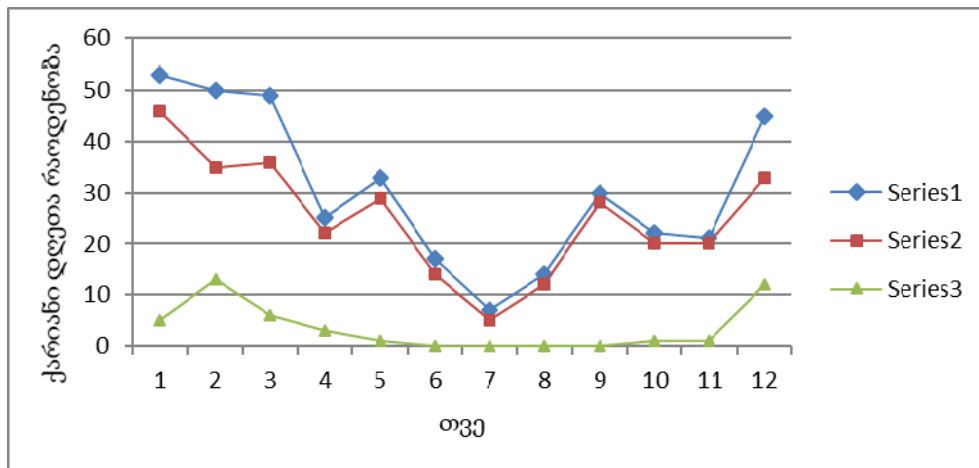
ბოფორ-ტის ბალები	ქარის სიძლიერის სიტყვიერი	ქარის საშუალო		ქარის მოქმედება ხმელეთზე
		მ/წმ	კმ/სთ	
11	სასტიკი შტორმი	28.5 – 32.6	103 -117	დიდი ნგრევა მნიშვნელოვან მოცულობაში. დაიკვირვება ძალიან იშვიათად
12	ურაგანი	32.7 და მეტი	118 და მეტი	უზარმაზარი ნგრევა, შენობები, სახლები და ნაგებობები სერიოზულად დაზიანებული არის, ხეები ძირფესვიანადაა ამოგლეჯილი, მცენარეულობა განადგურებულია. შემთხვევა უკიდურესად იშვიათია

კატალოგი 1946 წლის 30 ივნისიდან 2022 წლის 14 ნოემბრამდე ინფორმაციას შეიცავს, სულ 1565 დღეს. აქედან კახეთის რეგიონში 1963 წლის 19 მარტიდან 2021 წლის 15 აგვისტომდე 365 შემთხვევა. კახეთში განლაგებულ სადგურებს შორის ყველაზე მეტი შემთხვევა დაფიქსირდა უდაბნოში - 1963 წლის 19 მარტიდან 1994 წლის 15 ოქტომბრამდე 299 ქარიანი დღე. როგორც ჩანს ეს სადგური დახურეს, და ამიტომ ინფორმაცია ამ სადგურიდან აღარ შემოდიოდა. შემდეგია დედოფლისწყაროს სადგური, სადაც 1974 წლის 15 დეკემბრიდან 2014 წლის 17 მარტამდე 45 ქარიანი დღე იყო. დანარჩენი სადგურები უფრო მოგრძალებულად გამოიყურებიან - თელავი - 6, გურჯაანი - 5, ახმეტა - 4, ყვარელი, საგარეჯო და ლაგოდეხი - ორ ორი, ხოლო წნორი, კაბალი და განჯალი - თითო ქარიანი დღე. ყველა ამ მეტეოსადგურის მახლობლად ტერიტორია დაზარალებულად ითვლება და ფართობი სადგურის მიხედვით 500-დან 2000 კვადრატულ კილომეტრამდეა.

მართალია, მარტო შიდა კახეთის ტერიტორიაზე ამ პერიოდში დაფიქსირდა რამოდენიმე შემთხვევა, როდესაც ძლიერი ქარი იყო, მაგალითად 2015 წლის 7 ივნისს ლაგოდეხი-თელავი ყვარელის ავტომაგისტრალზე ქარმა ბევრი ხე წააქცია; 2019 წლის 19 მისს ყვარელში 900 ჰა ვენახი დააზიანა; 2020 წლის 15 ივლისს თელავის და ყვარელის მუნიციპალიტეტებში 112 სახლი დაზიანდა, ხეები იყო მოგლეჯილი და 5000 ჰექტარზე ვენახებში ბოძები მოტეხილი და ვენახი დაზიანებული; 2021 წლის 26 აგვისტოს თელავის და ყვარელის მუნიციპალიტეტებში ძლიერმა ქარმა წააქცია მრავალწლოვანი ხეები, დააზიანა ვენახები და ა.შ. 2021 წლის 26 აგვისტოს სეტყვამ და ძლიერმა ქარმა ყვარლისა და თელავის მუნიციპალიტეტის რამდენიმე სოფელი მნიშვნელოვნად დააზარალა. ვენახების გარდა, ძლიერმა ქარმა წააქცია მრავალწლოვანი ხეები, [\[https://imedinews.ge/ge/regioni/215668/dzlierma-setkvam-kakheti-daazarala\]](https://imedinews.ge/ge/regioni/215668/dzlierma-setkvam-kakheti-daazarala) ის ფაქტი, რომ იყო დაზიანებული საცხოვრებელი სახლები და მრავალწლოვანი ხეები იყო წაქცეული და მოგლეჯილი, მიუთითებს იმაზე, რომ ქარის სიჩქარე იყო არანაკლებ 30 მ/წმ-ში. მაგრამ, როგორც ავლნიშნეთ, მოწვევადი ზონა, რომლის ფართობი დაკვირვების პუნქტთანაა მითითებული და ყველა შემთხვევაში ერთიდაიგივეა, არცთუ მართობულია. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ შტორმების და ურაგანების დროს ქარის სიჩქარემ შეიძლება 30 მ/წმ სიჩქარეზე მეტის იყოს, ხოლო ცალკეულ წამოქროლების დროს 60 მ/წმ-ში მიაღწიოს. ამ შემთხვევაში ბევრი რამ გასაგებია [\[http://phys.vspu.ac.ru/for%20students/TSOR/Gorbunova/page13.html\]](http://phys.vspu.ac.ru/for%20students/TSOR/Gorbunova/page13.html).

ძლიერ ქარებს შეუძლიათ გამოიწვიონ მნიშვნელოვანი ნგრევა, რომლის მოცულობა ქარის სიჩქარეზეა დამოკიდებული. ურაგანული ძალის ქარები, რომელთა სიჩქარე 35 მ/წმ-ში აჭარბებს, მნიშვნელოვან ზარალს აყენებენ მსუბუქ, და ზოგჯერ კაპიტალურ შენობებსაც კი. რაც შეეხება ხეებს, თუმცა არც ერთი მათგანი არ შეიძლება იყოს იმდენად მაგარი, რომ გარანტირებულად გაუძლოს ურაგანული ძალის ქარს, არაღრმა ფესვების მქონე ხეები გაცილებით ადვილად შეიძლება მიწიდან იყოს ამოგდებული, ვიდრე გრძელფესვიანები, ხოლო ევკალიფტის მაგვარი ადვილად მტვრევადი ხეები კარგავენ ტოტებს, მაგრამ ხის ტანი რჩება მიწაში. ამის გარდა არ უნდა დაგვავიწყდეს ისეთი მოვლენაც,

როგორც შვედური ქარებია, მითუმეტეს, რომ თითქმის ყველა შემთხვევაში ამ მოვლენებს თან ახლდათ მძლავრი ატმოსფერული პროცესები.



ძლიერი ქარის შემთხვევები თვეების მიხედვით.
 Series 1 - ყველა მეტეოსადგური; Series 2 - უდაბნო; Series 3 - დედოფლისწყარო

იმაზე, რომ ძლიერი ქარები კახეთისთვის ჩვეულებრივი ამბავია, ის გარემოებაც მეტყველობს, რომ მხოლოდ აგვისტო-სექტემბერში დაფიქსირდა სამი შემთხვევა:

2023 წლის 7 სექტემბერს ძლიერმა ქარმა და სეტყვამ ლაგოდეხის მუნიციპალიტეტის სამი სოფლის – კაბალის, გურგენიანის და ბაისუბნის მოსახლეობა დააზარალა. კაბალში ქარმა რამდენიმე სახლს სახურავიც გადახადა. ლაგოდეხი-ყვარელი-თელავის დამაკავშირებელ გზაზე მოგლეჯილია ხეები და გაწვევტილია ელექტროსადენები [<https://accentnews.ge/ka/article/95150-kaxetshi-zlierma-karma-da-setqvam-soplebi-daazarala>].

2023 წლის 4 აგვისტოს კახეთში, გურჯაანის მუნიციპალიტეტში 9 აპრილის ქუჩაზე მდებარე სახლებს ქარმა სახურავები გადახადა. ძლიერი ქარის გამო წაიქცა ხეები, რის შედეგადაც დაზიანდა ელექტროგადამცემი ხაზები და გაზის მილები. სახურავის გარეშეა დარჩენილი ხუთი მრავალსართულიანი კორპუსი და 70-მდე კერძო სახლი, მათ შორის ვეჯინში, კოლაგში, ბაკურციხეში, ველისციხესა და კარდენახში [<https://sputnik-georgia.com/20230804/gurjaansi-salikvidacio-samusaoebi-mimdinareobs-280919442.html>].

2023 წლის 26 აგვისტოს სეტყვამ და ძლიერმა ქარმა ყვარლისა და თელავის მუნიციპალიტეტის რამდენიმე სოფელი მნიშვნელოვნად დააზარალა. ვენახების გარდა, ძლიერმა ქარმა წააქცია მრავალწლოვანი ხეები [<https://imedinews.ge/ge/regioni/215668/dzlierma-setkvam-kakheti-daazarala>].

ქარის სიჩქარე ანემომეტრებით იზომება. მოქმედების მექანიზმისმისგან დამოკიდებულობით ანემომეტრები მიეკუთვნებიან შემდეგ კლასებს: მბრუნავებს, თერმულებს, აკუსტიკურებს, ლაზერულებს.

ამ ხელსაწყოებს შორის სხვაობაა ჰაერის ნაკადების სიჩქარის გაზომვის ტექნოლოგიებში, ამჟამად გაყიდვაში ბევრი ტიპის ანემომეტრებია, როგორც მექანიკური, ასევე ელექტრონული. ქარის დასაშვები სიჩქარეა 30 – 40 მ/წმ-ში. მართალია, ტრადიციული და ახალი ავტომატიზირებული მეტეოსადგურები გარკვეული ტიპის ხელსაწყოებს იყენებენ. უნდა აღინიშნოს, რომ საარქივო მასალები ძირითადად ძველი ტიპის მეტეოსადგურებზეა მიღებული. ქარის სიძქარე მეტეოსადგურებზე სპეციალური ანემომეტრებით 10 მეტრ სიმაღლეზე იზომება, მაგრამ ჩვენთვის უფრო საინტერესოა ის რეალური ზემოქმედება, რომელსაც ქარი მიწისპირა ფენაში ახდენს. რა საკვირველია, მიწის რელიეფი, მცენარეულობა, სახლები, ნაგებობები და ა.შ., ამუხრუჭებენ და ამცირებენ დამყარებული ქარის სიჩქარეს, მაგრამ, შედეგებიდან გამომდინარე, მას საკმარისი ძალა რჩება. ითვლება, რომ მიწის ზედაპირთან ქარის სიჩქარე, როგორც წესი 4 – 8 მ/წმ-შია და ძალიან იშვიათად აჭარბებს 15 მ/წმ [<http://phys.vspu.ac.ru/for%20students/TSOR/Gorbunova/page13.html>].

გასაგებია, რომ ორ-სამსართულიანი შენობა-ნაგებობები და მაღალი ხეები იმ 10 მეტრიან და უფრო მაღალ ზონაში ხვდებიან, მაგრამ ვენახი, რომლის სიმაღლე დაახლოებით ორი მეტრია? რასაკვირველია,

გასათვალისწინებელია ბევრი ფაქტორი, მათ შორის ვენახის ორიენტაცია, მისი იალქნობა, ბომბების ხარისხი, სარეველა ბალახის სიხშირე და სიმაღლე და ა.შ., მაგრამ ფაქტი ფაქტად რჩება - ხშირად ვენახებში ბომბები მოტეხილი, ხოლო ვენახი დაზიანებული გვხვდება. განვიხილოთ შედეგი ტაბულა, სადაც მოცემული ქარის სიჩქარე ეკვივალენტურია ქარის 10 წუთში საშუალო სიჩქარისა [<https://www.hig-hpeaktent.com/ru/page/beaufort-scale-wind-speed-and-wind-pressure.html>].

ცხრილი 2. ქარის დონეს, ქარის სიჩქარეს და ქარის წნევის გარდაქმნის ტაბულა

ქარის დონე	ქარის სიჩქარე (მ/წმ)	ქარის წნევა (კგ/მ ²)
0	0-დან 0,2-დე	0
1	0,3-დან 1,5-დე	1-ზე ნაკლები
2	1,6-დან 3,3-დე	1
3	3,4-დან 5,4-დე	1-დან 3-დე
4	5,5-დან 7,9-დე	3-დან 7-დე
5	8,0-დან 10,7-დე	7-დან 14-დე
6	10,8-დან 13,80-დე	14-დან 23-დე
7	13,9-დან 17,1-დე	23-დან 35-დე
8	17,2-დან 20,7-დე	35-დან 52-დე
9	20,8-დან 24,4-დე	52-დან 72-დე
10	24,5-დან 58,4-დე	72-დან 97-დე
11	28,5-დან 32,6-დე	97-დან 128-დე
12	32,7-დან 36,9-დე	128-დან 164-დე
13	37,0-დან 41,4-დე	164-დან 206-დე
14	41,5-დან 46,1-დე	206-დან 256-დე
15	46,2-დან 50,9-დე	256-დან 312-დე
16	51,0-დან 56,0-დე	312-დან 377-დე
17	56,1-დან 61,2-დე	377-დან 449-დე
17-ზე მეტი	61,2-ზე მეტი	449-ზე მეტი

დასკვნა

თეორიული გაანგარიშება ან რეალურ პირობებში გაზომილი ვენახის პარამეტრები მოგვცემენ უკუამოგანის ამოხსნის საშუალებას - უახლოეს მეტეოსადგურზე გაზომილმა რა სიჩქარის ქარმა შეიძლება მოგვცეს მსგავსი შედეგები. რისთვის არის ეს საჭირო - გარკვეული პროფილაქტიკური ზომების (კერძოდ, ქარსაცავი ზოლები, ქარისგან დამცავი ეკრანები, ბომბების გამაგრება და ა.შ.) მიღება. ამის გარდა, შესაძლებელია ქარის წნევის გაზომვის პრინციპზე შეიქმნას საკმაოდ მარტივი და იაფი ხელსაწყოები. ეს შეიძლება იყოს ყველარაკურსიანი მაქსიმალური ქარის წნევის როგორც ჰორიზონტალური, ასევე ვერტიკალური ქარების გამზომი – რეგისტრატორი.

ლიტერატურა

- [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, N 3, 2012, pp. 2021-2056, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, <http://www.springerlink.com/content/9311p18582143662/fulltext.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] Amiranashvili A., Jamrishvili 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. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, November 21-22, 2022, pp. 159-163. <http://openlibrary.ge/handle/123456789/10250>

- [4] 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 Javakhishvili Tbilisi State University Press, 2022, ISBN 978-9941-36-030-5, pp. 275-281. <http://www.dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10120>
- [5] Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Gvasalia G.D., Loladze D.A. Statistical Characteristics of the Daily Max of Wind Speed in Kakheti in 2017-2019. // Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 23(1), 2020, pp. 73-86. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2320202655>
- [6] Amiranashvili A., Chikhladze V., Gvasalia G., Loladze D. Statistical Characteristics of the Daily Max of Wind Speed in Kakheti in the Days with and without Hail Processes in 2017-2019. // Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 197-201. http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/8808-1/Eco_2020_3.32.pdf
- [7] 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
- [8] ჩიხლაძე ვ. შვედური ქარები კახეთში. // მიხეილ ნოდია სხ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ISSN 1512-1135, ტ. LXXIII, 2021
- [9] 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.

ABOUT STRONG WINDS IN KAKHETI REGION

***Elizbarashvili E., **Varazanashvili O., ***Lagidze L., ***Pipia M., **Chikhladze V.**

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

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

**** Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*

vicachikh@gmail.com

Abstract. The paper presents the discussion of catalog data of strong winds in Kakheti region according to individual weather stations and months. Cases of winds not included in the catalog are given. The issue of wind pressure is discussed. The idea of the maximum wind pressure value meter - recorder is proposed.

Key words: wind, strong wind, wind speed, wind pressure, anemometer, measurement.

ქარის და წვიმის ერთობლივი ზემოქმედება ვერტიკალურ ზედაპირებზე კლიმატის ცვლილების დინამიკის გათვალისწინებით

*****ქართველიშვილი ლ., ***მოდრეკელიძე მ., ****ფანჩვიძე ბ., **ქოთოლაშვილი გ., **ხეცურიანი მ.**

**ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, სტუ, თბილისი, საქართველო
**სოხუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო
***ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო
****სსიპ თბილისის №89-ე საჯარო სკოლა, საქართველო
lianakartvelishvili@yahoo.com*

ანოტაცია. სამშენებლო ობიექტების დაგეგმარებისას და მშენებლობისას აუცილებელია კლიმატის გათვალისწინება. სწორედ კლიმატზეა დამოკიდებული ამა თუ იმ ობიექტის საექსპლუატაციო დონე, ადამიანის ცხოვრების, მუშაობის და დასვენების კომფორტული პირობები. სამშენებლო კლიმატოლოგიის ამოცანას წარმოადგენს უზრუნველყოს მშენებლები იმ რაიონის კლიმატური მონაცემებით, სადაც მიმდინარეობს მშენებლობა, გამოიყენოს კლიმატის დადებითი მხარეები და მიიღოს შესაბამისი ზომები უარყოფითი ზემოქმედებისაგან დასაცავად.

კლიმატის გათვალისწინება განისაზღვრება იმ კლიმატური მახასიათებლების ხარისხით, რომლებსაც ითვალისწინებენ სამშენებლო ობიექტების დაგეგმარებისას და რომლებიც შედიან დაპროექტებისათვის საჭირო გაანგარიშებებში. საბოლოოდ, ეს მონაცემები შეაქვთ სამშენებლო ნორმებსა და წესებში.

ქარისა და წვიმის ერთობლივი ზემოქმედების შეფასება აქტუალური გახდა სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის ინტენსიფიკაციასთან დაკავშირებით, განსაკუთრებით მიმდინარე საუკუნის 60-იანი წლებიდან. ასეთი ზემოქმედების შედეგად უარესდება შენობათა კედლების სტრუქტურა, ირღვევა ნაგებობათა ფასადები, ჩქარდება არმატურის კოროზია და ა.შ.

საქართველოს რთული ოროგრაფიული და კლიმატური პირობები განსაზღვრავს ირიბი წვიმების ზემოქმედების დიდ მრავალფეროვნებას. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მათი გავლენა კოლხეთის დაბლობის ცენტრალურ, შიდა და სამხრეთ რაიონებში, აგრეთვე აჭარის სანაპირო ზოლში, სადაც ნალექების დიდი რაოდენობა მოდის. აღნიშნულ რაიონებში ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსული ნალექების რაოდენობა შეიძლება აღემატებოდეს მათი საერთო რაოდენობის 70-80%. ირიბი წვიმების ზემოქმედების ზომიერ ზონას მიეკუთვნება დასავლეთ საქართველოს ტერიტორიის დანარჩენი ნაწილი, ხოლო ირიბი წვიმების ზემოქმედება თითქმის უმნიშვნელოა აღმოსავლეთ საქართველოს ვაკე რაიონებში.

საკვანძო სიტყვები: ატმოსფერული ნალექები, ირიბი წვიმა, კლიმატური დარაიონება, სამშენებლო კლიმატური ნორმა.

კლიმატის გათვალისწინება ხდება ამა თუ იმ სამშენებლო ობიექტების, როგორც დაგეგმარების, ასევე მშენებლობის სტადიაშიც. ამ ზემოქმედების სწორი გათვალისწინების მიხედვით მიმდინარეობს სამშენებლო ობიექტების არქიტექტურულ-დაგეგმარებითი ღონისძიებების გადაწყვეტა და მასზეა დამოკიდებული აგრეთვე, ამა თუ იმ ობიექტების საექსპლუატაციო დონე, ადამიანის ცხოვრების მუშაობის და დასვენების კომფორტული პირობები [1-4].

კლიმატის გლობალური ცვლილების თანამედროვე პირობებში შეიცვალა რეგიონალური კლიმატი, მათ შორის საქართველოს კლიმატიც. ყოველივე ეს კარგად აისახა „კლიმატის ცვლილების კვლევის

ეროვნული პროგრამის“ შესაბამისად შესრულებულ ანგარიშებში, რომლებიც ეხება ტემპერატურისა და ნალექების ველების ცვლილებას.

კლიმატის ძირითადი პარამეტრებისათვის შესწავლილ იქნა მათი ცვლილების ტენდენცია. საქართველოს ჰიდრომეტეოროლოგიური ქსელის სადგურების დაკვირვების მონაცემებზე დაყრდნობით 1958-2017 წწ. პერიოდში საშუალო წლიური მნიშვნელობისა და წლის სეზონების მიხედვით ტემპერატურის, ნალექებისა და ქარის ექსტრემალურ მნიშვნელობათა ალბათობების დასადგენად გამოყენებულ იქნა R დაფუძნებული პროგრამული პაკეტი ExtRemes Toolkit, რომელიც შექმნილია ამერიკის ატმოსფეროს კვლევის ცენტრის (NCAR) მიერ.

მეტეოროლოგიური ელემენტების საშუალო მნიშვნელობებისთვის, ასევე სპეციალიზებული სამშენებლო-კლიმატური მახასიათებლებისთვის წრფივი ტრენდების სტატისტიკური საიმედოობა შეფასებულ იქნა მენ-კენდელის მეთოდით რომლის დროსაც გამოვლენილ იქნა ცვლილების ტენდენციები. მიმდინარე 50 წლის განმავლობაში საშუალო წლიური ტემპერატურა საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე მხოლოდ მატების ტენდენციას ავლენდა. ორ პერიოდს შორის (1958-1987 წწ.; 1988-2017 წწ.). ჰაერის ტემპერატურა მომატებულია ყველაგან დაახლოებით 0.2⁰-0.7⁰-ით და მიმდინარეობს ზაფხულ-შემოდგომის ხარჯზე. დასავლეთ საქართველოში, ძირითადად, დათბობა განპირობებულია ღამის, ხოლო აღმოსავლეთში დღის ტემპერატურის აწევის ხარჯზე. ყველაზე მეტად ამ პარამეტრმა დედოფლისწყაროში მოიმატა საშუალო და მაქსიმალური ტემპერატურისთვის, შესაბამისად, დასავლეთ საქართველოში კი ამ პერიოდში მაქსიმალურმა ნაზრდმა 0.6⁰ (ფოთი) შეადგინა. დათბობის შედარებით ნაკლები, მაგრამ მნიშვნელოვანი ტენდენცია გამოვლინდა მცხეთა-მთიანეთსა და კახეთში.

ატმოსფერული ნალექების წლიურმა ჯამებმა 1958-1987 წწ. პერიოდში დაიკლო 20%-ით და 1988-2017 წლებში გაიზარდა 15%-ის ფარგლებში. მათი ზრდის ყველაზე მაღალი მნიშვნელობები აღინიშნა აჭარის სამხრეთ, მთიან რაიონებში და შირაქის ვაკეზე. ნალექები გაიზარდა, აგრეთვე კოლხეთის ბარის სანაპირო ზოლსა და აჭარაში. ნალექების მნიშვნელოვანი კლება აღინიშნება კავკასიონის მაღალმთიან ზონასა და გურია-აჭარის მთებში.

საქართველოს ტერიტორიაზე ატმოსფერული ნალექები აგრეთვე იცვლებოდა წლის თბილ პერიოდში. მათი ზრდის უდიდესი მნიშვნელობები 10-15% აღინიშნა კოლხეთის დაბლობის ცენტრალურ ნაწილში. ჯავახეთის ზეგანზე და შირაქის ველზე ნალექები გაიზარდა 5-10%-ით.

ნალექების მკვეთრი შემცირება 25%-მდე აღინიშნება მაღალმთიან ყაზბეგში. აღმოსავლეთ კავკასიონის უმეტეს ტერიტორიაზე, გაგრის ქედზე, ეგრისის ქედზე, მესხეთის ქედზე, აჭარა-გურიის მთებში და ქვემო ქართლში ნალექებმა დაიკლო 5-დან 15%-მდე.

ვერტიკალურ ზედაპირებზე მოსული ნალექები (ე.წ. ირიბი წვიმები) 1958-1987 და 1988-2017 წლებში ძირითადად შემცირდა 5-დან 30%-მდე, გამონაკლის წარმოადგენს აბასთუმანი, სადაც აღინიშნება ნალექების ზრდა 16%-ით. ნალექების საერთო ჯამი ამ რაიონში აგრეთვე შემცირდა, ოღონდ შედარებით ნაკლები სიდიდით (-5%). ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსული ნალექების ასეთი მნიშვნელოვანი შემცირება შეიძლება აიხსნას ქარის სიჩქარის შესუსტებით.

ირიბი წვიმების რაოდენობის შემცირება აღინიშნება აგრეთვე აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიის დიდ ნაწილზეც, რაც, ვფიქრობთ, იმავე მიზეზით აიხსნება. ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსული ნალექების რაოდენობა თბილისში შემცირდა 32%-ით, რაც 87 მმ-ს შეადგენს, საგარეჯოში – 24%-ით (56მმ), თელავში – 5%-ით (14მმ), გურჯაანში – 36%-ით (64მმ), დუშეთში – 16%-ით (22მმ) და სხვ.

აჭარის სანაპირო ზოლსა და გუდაუთის რაიონში ნალექების ცვლილება უმნიშვნელოა, გაგრასა და გალში შემცირდა 16-30%-ით, რაც 70-75მმ-ს შეადგენს, ხოლო ფოთსა და სოხუმში გაიზარდა შესაბამისად 5%-ით (46 მმ) და 22%-ით (78 მმ). ფოთში საერთო ნალექების ჯამიც გაიზარდა 8%-ით, სოხუმში კი შემცირდა 5%-ით. ამრიგად, ირიბი წვიმების გაზრდა სოხუმში უნდა აიხსნას აქ ქარის რეჟიმის ცვლილებით, კერძოდ, დიდი სიჩქარის ქარების განმეორებადობის ზრდით. ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსული ნალექები გაიზარდა აგრეთვე კოლხეთის ბარის ცენტრალურ რაიონში, მაგალითად, სამტრედიის მონაცემებით ზრდამ შეადგინა 10% (55 მმ).

საერთოდ, დამოკიდებულება ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული ნალექების ცვლილებასა და ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსულ ნალექების ცვლილებას შორის არ არის ცალსახა. ჰორიზონტალურ

ზედაპირზე მოსული ნალექები შემცირდა, შემცირდა აგრეთვე ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსული ნალექებიც. ამდენად, სადგურთა ამ ჯგუფისათვის ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსული ნალექების შემცირება განპირობებულია ნალექების საერთო რეჟიმით – მათი შემცირებით ჰორიზონტალურ ზედაპირზე. ასეთ სადგურებს მიეკუთვნება დუშეთი, ყვარელი, ლაგოდეხი, საგარეჯო, თელავი, წყალტუბო და სხვ. იმ პუნქტებს, რომლებზეც ნალექების საერთო რაოდენობა უმნიშვნელოდ შემცირდა ან გაიზარდა, მაგრამ ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსული ნალექები შემცირდა მნიშვნელოვნად, მიეკუთვნება ურბანიზებული სადგურები (თბილისი, გორი) და, აგრეთვე, მთიანი რაიონები, სადაც ქარის სიჩქარე ბოლო 30 წლის განმავლობაში, მწვანე ნარგავების განაშენიანების გამო შემცირდა (მთა-საბუეთი, ხულო).

პუნქტებში, სადაც ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული ნალექები საერთოდ შემცირდა, მაგრამ ვერტიკალურ ზედაპირებზე მოსულმა ნალექებმა იმატა ან შემცირდა უმნიშვნელოდ, ე.ი. ამ პუნქტებში მოხდა ქარის რეჟიმის ან ნალექების მოსვლის ხასიათის მნიშვნელოვანი ცვლილებები. მათ უპირველეს ყოვლისა მიეკუთვნება ფასანაური, სოხუმი, ხაშური, გარდაბანი, სამტრედია, აბასთუმანი და სხვ.

ირიბი წვიმების დაკვირვებათა ორი პერიოდისათვის (1958-1987 და 1988-2017წწ). განსაზღვრულია განაწილება მიმართულებების მიხედვით (განაწილებები ორიენტაციის მიხედვით) თითოეული ვარდული თავისი ინდივიდუალურობით ხასიათდება, თუმცა კონკრეტულ პუნქტში ვარდულს თავისი დამახასიათებელი კონფიგურაცია გააჩნია და მნიშვნელოვნად არ არის შეცვლილი მეორე პერიოდის (1988-2017 წწ.) განმავლობაში.

ირიბი წვიმების გადანაწილების თითქმის იგივე ხასიათი, როგორც ხარისხობრივად, ისე რაოდენობრივად, შენარჩუნებულია აბასთუმანში, ახალქალაქში, ამბროლაურში, ბათუმში, ბახმაროში, ბაკურიანში, სოხუმში, ხულოში, ჩაქვში, ტყიბულში, ხაშურში, ფოთსა და სამტრედიაში. მაქსიმალური სხვაობა ერთსა და იმავე ორიენტაციის ზედაპირზე მოსულ ნალექებს შორის 1957-1987 და 1988-2017 წლების განმავლობაში არ აღემატება 5%-ს, ძირითადად კი ისინი ემთხვევა ერთმანეთს. თითქმის პროპორციულად არის შემცირებული ირიბი წვიმები ახალციხეში, ბაკურიანში, გალში, გურჯაანში, საგარეჯოში, საჩხერეში, წყალტუბოში, დუშეთში, ყვარელსა და ლაგოდეხში. ცვლილება შეადგენს რამდენიმე მმ-დან 15-20 მმ-მდე. ყველაზე დიდი განსხვავებები კი ამ ორ განხილულ პერიოდს შორის ვერტიკალურ ზედაპირებზე მოსულ ნალექებში აღინიშნება თბილისსა და თელავში.

თბილისში ნალექები შემცირდა აღმოსავლეთით, სამხრეთ-აღმოსავლეთით, დასავლეთით და ჩრდილო-დასავლეთით ორიენტირებულ ვერტიკალურ ზედაპირებზე. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კლება დასავლეთის და ჩრდილო-დასავლეთის ზედაპირზე. ეს შეიძლება აიხსნას როგორც ნალექების რაოდენობის საერთო შემცირებით (თბილისში), ისე ურბანიზაციასთან დაკავშირებული ამ მიმართულებების ქარების განმეორებადობის შემცირებით. სამაგიეროდ, ირიბი წვიმები 6-დან 43 მმ-მდე გაიზარდა ჩრდილოეთით ორიენტირებულ ზედაპირზე, რაც ამავე მიმართულების ქარების განმეორებადობის გაზრდით უნდა აიხსნას. თელავში 15 მმ-ით შემცირდა სამხრეთ-დასავლეთის ზედაპირებზე მოსული ნალექების რაოდენობა (57-დან 42 მმ-მდე), სამაგიეროდ, უმნიშვნელოდ (3-7 მმ-ით) გაიზარდა აღმოსავლეთით და დასავლეთით ორიენტირებულ ვერტიკალურ ზედაპირებზე ისე, რომ ვერტიკალურ ზედაპირებზე მოსული ნალექების საერთო ჯამი შემცირდა 14 მმ-ით, რაც მხოლოდ 5%-ს შეადგენს [1].

ფარავანში ნალექები გაიზარდა ჩრდილოეთის, ჩრდილო-აღმოსავლეთის, სამხრეთ-აღმოსავლეთის და ჩრდილო-დასავლეთის ზედაპირებზე, სამაგიეროდ, შემცირდა აღმოსავლეთის, სამხრეთის, სამხრეთ-დასავლეთის და დასავლეთის ზედაპირებზე. საერთო ჯამში, ვერტიკალურ ზედაპირებზე მოსული ნალექები გაიზარდა 68 მმ-ით, რაც 23%-ს შეადგენს.

როგორც მშენებლობის პრაქტიკამ აჩვენა, შენობის კედლები ნესტიანდება ირიბი წვიმების ინტენსიური ზემოქმედების შედეგად და მთელ რიგ შემთხვევებში აუცილებელია მიღებულ იქნეს სპეციალური წვიმისგან დამცავი ღონისძიებები. შენობების ირიბი წვიმების ზემოქმედებისაგან დაცვის მიზანია კონსტრუქციების, შენობების და სათავსოების ნაადრევი დანგრევის უგულებელყოფა და, აგრეთვე, შენობების შიგნით უფრო ხელსაყრელი ტენიანობის რეჟიმის შექმნა.

შენობების ირიბი წვიმების ზემოქმედებისაგან დამცავი ღონისძიებები განისაზღვრება მოცემული სამშენებლო რაიონის კლიმატური თავისებურებებით და დამოკიდებულია ირიბი წვიმების რაოდენობაზე, შენობების სართულიანობაზე, კედლების ორიენტაციაზე ირიბი წვიმების ზემოქმედების არახელსაყრელი მიმართულებების მიმართ, სათავსოს მიკროკლიმატის და არქიტექტურულ-დაგეგმარებითი გადაწყვეტების მოთხოვნებზე.

ირიბი წვიმების ზემოქმედების ინტენსივობა მიზანშეწონილია შეფასდეს ძირითადად თვის მანძილზე მოსული მაქსიმალური ირიბი წვიმების რაოდენობების მიხედვით. ირიბი წვიმების ზემოქმედების გრადაციების განსაზღვრისას და რუკის შედგენისას მხედველობაში იქნა მიღებული ყველა სამუშაო, საზღვარგარეთელი და ჩვენი ქვეყნის მეცნიერთა გამოკვლევები, აგრეთვე საქართველოს სხვადასხვა რაიონში შენობების მასიური გამოკვლევების შედეგები, რომლებიც ჩატარებულ იქნა ჩვენ მიერ.

ირიბი წვიმების უმნიშვნელო ზემოქმედებისას ($H_v < 50$ მმ) შეიძლება საკმარისი აღმოჩნდეს ჩვეულებრივი წვიმისაგან დამცავი ღონისძიებები. იმ შემთხვევაში, როდესაც ირიბი წვიმების საშუალო თვიური რაოდენობები მერყეობს 50-80 მმ ფარგლებში, მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს სპეციალური წვიმისგან დამცავი მოწყობილობები, ჰერმეტიკული და ჰიდროიზოლაციური მასალები და ა.შ. როდესაც $80 < H < 100$ მმ-ზე მიზანშეწონილია ისეთი წყალსარინი მოწყობილობების მოწყობა, როგორცაა წინაფრები, აივნები, ღია პირაპირები და სხვა. ირიბი წვიმების განსაკუთრებით ინტენსიური ზემოქმედებისას (როდესაც $H_v > 100$ მმ-ზე), აუცილებელია მიღებულ იქნეს ღონისძიებები, რომლებიც უზრუნველყოფენ კონსტრუქციის გამომშობას, მაგ. კედლები ვენტილირებული საჰაერო შუა შრით.

ირიბი წვიმების შენობებზე ზემოქმედების ინტენსიურობის დამუშავებული გრადაციები კარგად ემთხვევა ნაგებობათა კედლებისა და მათ შორის პირაპირების მასიურ გამოკვლევებს საქართველოს სხვადასხვა კლიმატურ ზონაში. ქ. თბილისში პირაპირების გამოკვლევისას დაფიქსირებული იყო გაჟონვების ყველა შემთხვევა, რომლებიც აღნიშნულია შუა პანელების პირაპირებს შორის.

გამოკვლეულ იქნა 3900 პირაპირი, მათ შორის გაჟონვები აღინიშნა 86-ში, რაც წარმოადგენს საერთო შემთხვევათა 2%-ს. ყველა გაჟონვა დაიკვირვებოდა ჩრდილო-დასავლეთ მიმართულებიდან, რაც სავსებით შეესაბამება ქ. თბილისის ირიბ წვიმების ვარდულს. ყველა გამოკვლეული პირაპირები შესრულებული იყო ჰერმეტიზებული მასალების გარეშე.

ნატურალური გამოკვლევივით დამტკიცდა, რომ ქ. თბილისის იმყოფება ირიბი წვიმების უმნიშვნელო ზემოქმედების ზონაში, რითაც აიხსნება ის გარემოება, რომ პირაპირები ჰერმეტიზებული მასალების გარეშე არ ჟონავს ამ პირობებში (98%). უმნიშვნელო გაჟონვები აღინიშნება მხოლოდ ჩრდილო-დასავლეთი მიმართულებით, რაც მთლიანად შეესაბამება გამოთვლის შედეგებს. თეორიული მეთოდით გაანგარიშებული ირიბი წვიმების მახასიათებლების და ნატურალური გამოკვლევების შედეგად რეკომენდებულია გამოყენებულ არ იქნეს ჰერმეტიზებული მასალები კედლების პირაპირებს შორის. საკითხის ასეთი მიდგომა იძლევა დიდ ეკონომიურ ეფექტს.

ამავე დროს, საქართველოს მთელ რიგ პუნქტებში შენობები განიცდის მზის რადიაციის გადაჭარბებულ ზემოქმედებას და საჭიროა მათი დაცვა გადახურებისაგან, ზოგიერთ შემთხვევაში კი შესაძლოა ირიბი წვიმების და მზის რადიაციის არახელსაყრელი ორიენტაციები დაემთხვეს ერთმანეთს, ამიტომ ამ პერიოდში მზისგან დამცავი მოწყობილობები შეიძლება მუშაობდეს, როგორც წვიმისგან დამცავი.

ლიტერატურა

- [1] ქართველიშვილი ლ. კომპლექსური კლიმატური პარამეტრების გათვალისწინება მშენებლობაში. // თბილისი, 2001, 150 გვ.
- [2] სადალაშვილი გ. ქართველიშვილი ლ. სამშენებლო კლიმატოლოგია. // თბილისი, 2000.
- [3] ქართველიშვილი ლ., მეგრელიძე ლ., ქურდაშვილი ლ., მელიქიძე კ. საქართველოში კლიმატის ცვლილების გათვალისწინებით ახალი სამშენებლო კლიმატური ნორმების დადგენა. // თბილისი, 2018, 156 გვ.
- [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>

THE COMBINED EFFECT OF WIND AND RAIN IS VERTICAL CONSIDERING THE DYNAMICS OF CLIMATE CHANGE ON SURFACES

Kartvelishvili L.**, **Modrekelidze M.**, ******Fanchvidze B.**, ****Kotolashvili G.**, ****Khetsuriani M.**

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

***Sukhumi State University, Tbilisi, Georgia*

****Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*

*****Public school No. 89 of Tbilisi, Georgia*

lianakartvelishvili@yahoo.com

Abstract. It is necessary to consider the climate during the planning and construction of construction facilities. The operational level of this or that facility, the comfortable conditions of human life, work and rest depend on the climate. The task of construction climatology is to provide builders with climatic data of the area where construction is taking place, to use the positive aspects of the climate and to take appropriate measures to protect against negative effects.

Consideration of the climate is defined by the quality of the climatic characteristics that are taken into account during the planning of construction objects and which are included in the calculations required for designing. Finally, these data are included in construction norms and rules.

The assessment of the joint impact of wind and rain has become relevant in connection with the intensification of civil and industrial construction, especially since the 60s of the current century. As a result of such an impact, the structure of the building walls deteriorates, the facades of the buildings are broken, the corrosion of the reinforcement accelerates, etc.

The complex orographic and climatic conditions of Georgia determine the great diversity of the impact of indirect rains. Their influence is especially important in the central, internal and southern regions of the Kolkheti plain, as well as in the coastal zone of Adjara, where a large amount of precipitation falls. In these areas, the amount of precipitation falling on the vertical surface may exceed 70-80% of their total amount. The rest of the territory of Western Georgia belongs to the moderate zone of influence of indirect rains, and the influence of indirect rains is almost negligible in the plain areas of Eastern Georgia.

Key words: atmospheric precipitation, indirect rain, climatic zoning, construction climatic norm.

REGIONAL CLIMATE MODEL SIMULATION OF GEORGIA PRECIPITATION AND SURFACE AIR TEMPERATURE DURING 2009–2014

Elizbarashvili M., Mikuchadze G., Chikhradze N.

*Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Georgia
mariam.elizbarashvili@tsu.ge*

Abstract. This study uses the latest version – v4.7.1 of the Regional Climate Model (RegCM) of Abdus Salam International Center for Theoretical Physics (ICTP). The complex orography of the Caucasus and the proximity of the Black and Caspian Seas make it necessary to use high-resolution models. The spatial resolution of the model is 12 km. Model predictions are compared with observational data, and some estimations are made. We use ERA5 high-resolution climate data (ECMWF) for RegCM in the years 2009-2014.

Key words: climate change, Monthly mean air temperature, Monthly mean precipitation.

Introduction

Atmosphere-ocean global climate models (AOGCMs) are the most modern tools for making climate change projections. However, their low resolution does not adequately resolve the issue of small-scale topography and weather systems, which are necessary to assess impacts at local and regional scales. Regional climate modeling is a widely accepted tool that can be used to expand AOGCM information to a resolution sufficient for impact studies and, therefore, for local policy makers. Before the projection of climate change using the regional climate model, it is necessary to study the issue of reproducing historical data by the regional climate model, which means comparing the model and observational data. From this point of view, several experiments were conducted for Georgia using the regional climate model [1,2]; the article presents one more experiment and assessments.

Materials and Methods

In this study, a Regional Climate Model (RegCM4.7.1) with CLM 4.5 option was compiled [3]. The model was run with Emanuel Cumulus convection scheme and Explicit Nogherotto-Tompkins moisture scheme [4, 5]. The simulation for the period of 2009-2014 years is performed at a 12 km horizontal grid spacing using ERA5 high-resolution climate data (ECMWF) as boundary conditions. The domain with 252 points in the E/W direction, 172 points in the N/S direction and 41 vertical levels, with the center in $clat = 41.$, $clon = 43$ was used. This domain completely covers Georgia's territory, the Caucasus mountains, the full Black and Caspian Seas and surrounding areas. The output from high-resolution simulation of monthly mean precipitation and air temperature were compared with observed station data for Georgia for 2010-2014 years as 2009 year was a spin up year. 7 weather stations data, which are located in different physical-geographical regions and characterize the climatic conditions of this area, were used in this study [6]. Dedoplistskaro, Sagarejo, Telavi and Pasaauri stations are located in the eastern part of Georgia and Ambrolauri, Kutaisi and Kobuleti – in the western part of Georgia (Table 1).

Table 1. Location of weather stations

Weather Station	LAT	LONG	Elevation, m a.s.l.
Dedoplistkaro	41.46	46.11	800
Sagarejo	41.74	45.33	770
Telavi	41.92	45.48	800
Pasanauri	42.35	44.69	1050
Ambrolauri	42.52	43.15	559
Kutaisi	42.27	42.7	120
Kobuleti	41.82	41.78	10

Results and Discussion

Annual air temperature

Comparing the annual air temperature variation according to the model and observational data for Dedoplistkaro, Sagarejo, Telavi, Pasanauri, Ambrolauri, Kutaisi and Kobuleti weather stations showed that model well describes the annual air temperature variation. In most stations, the model data exceeds the observational data. The biggest difference between the model and observational data for these stations of average annual air temperature is observed in eastern Georgia in Pasanauri in 2011 and the difference is -2.76°C .

Monthly Mean Air Temperatures

The intra-annual trend of monthly mean air temperature is in a good agreement with each other according to observational data and model data for all considered weather stations.

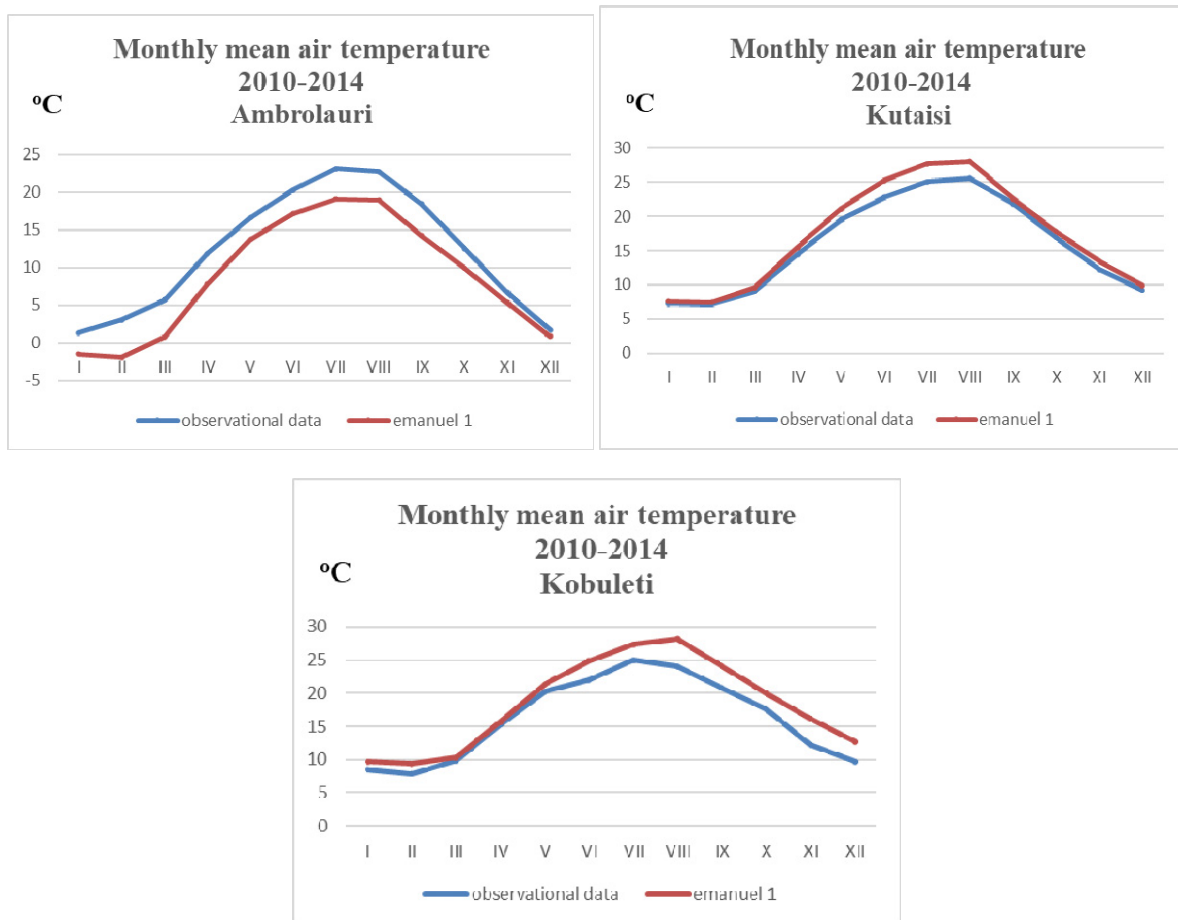


Fig. 1. Monthly mean air temperature for Western Georgia's stations according to model and observational data.

The difference between the intra-annual course of average monthly air temperature according to observational data and model is greater for the weather stations in eastern Georgia than in western Georgia (Fig. 1 and 2). In western Georgia, for Ambrolauri, the model data is less than the observation data throughout the year, in Kutaisi and Kobuleti the model data exceeds the observation data.

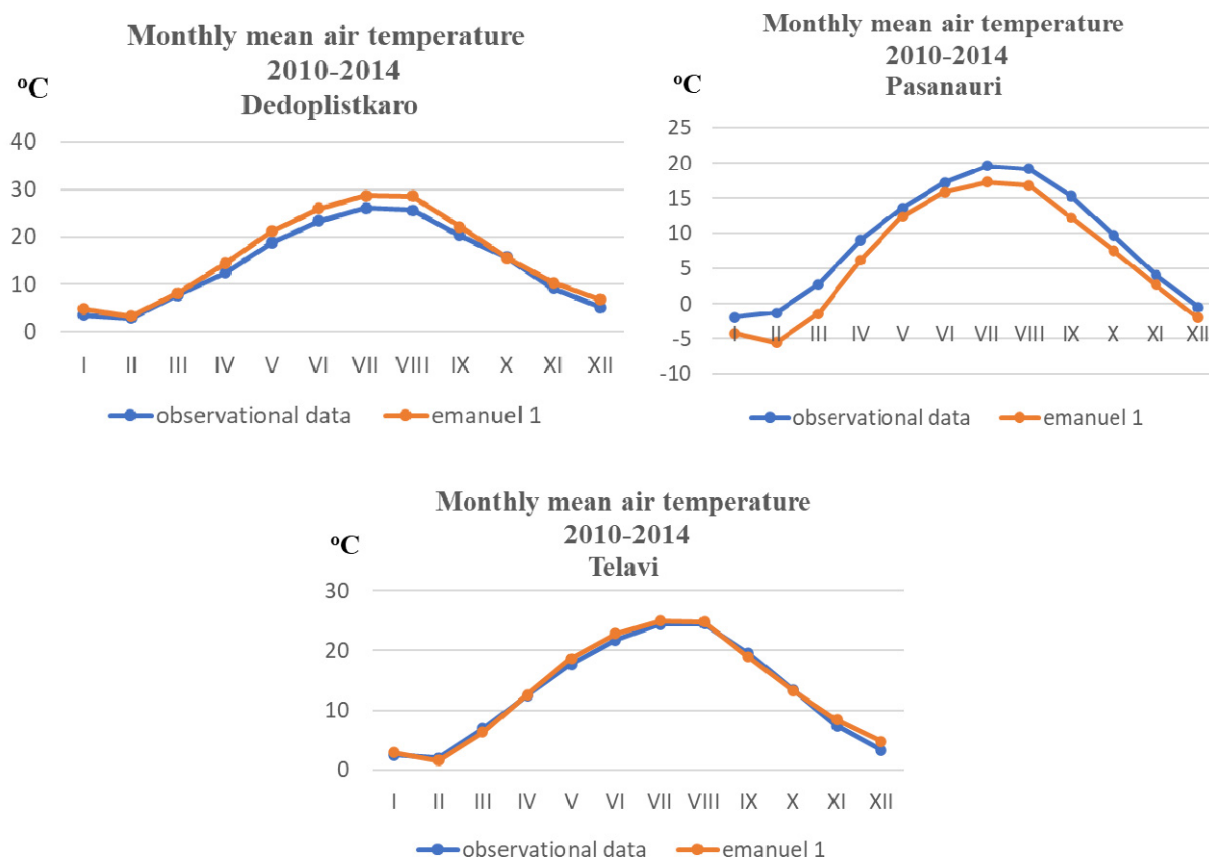


Fig. 2. Monthly mean air temperature for the weather stations of eastern Georgia according to the model and observational data.

The biggest difference between model and observational monthly mean air temperature is observed for Dedoplistskaro and Pasaauri weather stations. In Pasaauri, the model data is less than the observational data all months, and the biggest difference is observed in February - 4.26 °C. And for the case of Dedoplistskaro, the model data exceeds the observational data and the biggest difference is observed in August - -2.87 °C. Model data well describes the intra-annual trend of monthly mean air temperature for Telavi (Fig. 2).

Annual precipitation

Comparing the variation of annual precipitation according to model and observational data for the weather stations selected by us located in the eastern and western parts of Georgia showed that in most cases of these stations, the model data differs significantly from the observational data.

Monthly mean precipitation

The intra-annual movement of average monthly precipitation differs from each other according to observational data and model data. For the weather stations of eastern Georgia: in Dedoplistskaro, Sagarejo, and Telavi, the model and observational data of some months coincide with each other. In the Fig. 3 the monthly mean precipitation according to model and observational data for Telavi and Pasaauri during 2010-2014 are presented.

There is a significant difference in Pasaauri weather station (1050 m) located in the high mountainous areas of eastern Georgia, where the model data significantly exceeds the observational data in all months.

There is also a significant difference for the weather station in western Georgia, located directly on the Black Sea coast: the model data in Kobuleti is less than the observational data in all months. And in Ambrolauri, the model data exceeds the observational data in all months.

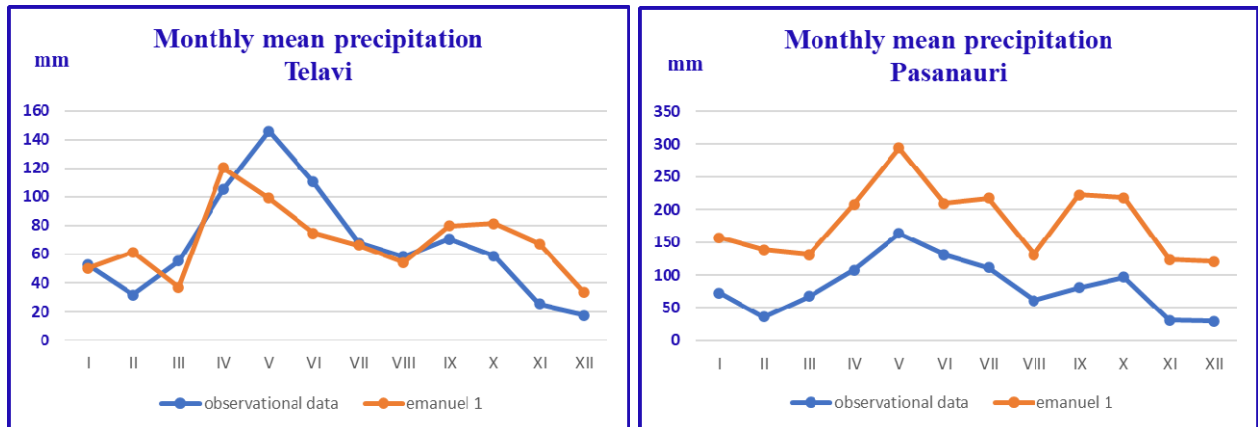


Fig. 3. Monthly mean precipitation according to the model and observational data for Telavi and Pasaunauri weather stations, 2010-2014.

Conclusions

- Comparison model simulation with observed weather station data shows that the model performs better in simulating the monthly mean temperature than precipitation in all selected weather stations of Georgia.
- The simulation captured the variation of the annual and monthly mean values of air temperature better in the weather stations located in eastern Georgia than in western Georgia.
- There are a lot of uncertainties of the yearly and monthly precipitation for all selected weather stations of Georgia. The biases between observation and simulated precipitation are high.

Acknowledgments

This work was supported by the Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG) № FR-19-8110.

References

- [1] Brunke M.A., Broxton P., Pelletier J., Gochis D., Hazenberg P., Lawrence D.M., Leung, L.R., Niu G., Troch P.A., Zeng X. Implementing and Evaluating Variable Soil Thickness in the Community Land Model, Version 4.5 (CLM4.5). // *Journal of Climate*, American Meteorological Society Publications, 29(9), 2016, pp. 3441–3461.
- [2] Emanuel K.A. A Scheme for Representing Cumulus Convection in Large-Scale Models. // *Journal of the Atmospheric Sciences*, American Meteorological Society Publications, 48(21), 1991, pp. 2313–2329.
- [3] Nogherotto, R., Tompkins, A.M., Giuliani, G., Coppola, E., Giorgi, F. Numerical framework and performance of the new multiple-phase cloud microphysics scheme in RegCM4. 5: precipitation, cloud microphysics, and cloud radiative effects. // *Geoscientific Model Developmen*,; gmd.copernicus.org, 9(7), 2016, pp. 2533–2547.
- [4] Elizbarashvili M., Elizbarashvili E., Tatishvili M., Elizbarashvili Sh., Meskhia R., Kotaladze N., King L., Keggenhoff I., Khardziani T. Georgian climate change under global warming conditions. // *Annals of Agrarian Science*, ScienceDirect, 15(1), 2017, pp. 17-15.
- [5] Elizbarashvili M., Kalmár T., Tsintsadze M., Mshvenieradze T. Regional climate modeling for Georgia with RegCM4.7. // *EGU General Assembly 2022*, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-2065.
- [6] Elizbarashvili M., Mikuchadze G., Kalmár T., Pal J. Comparison of Regional Climate Model Simulations to Observational Data for Georgia. // *EGU General Assembly 2023*, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-3828.

RAPID INTENSIFICATION OF HURRICANE IAN DURING LANDFALL IN SOUTHWEST FLORIDA (2022)

Shekriladze I.

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia
i.shekriladze@gtu.ge

Abstract. Rapid intensification (RI) of tropical hurricane (TH) Ian during landfall is examined within the framework of equilibrium translation model (ETM). The development of RI in the rarest conditions of constant TH sizes and translation speed, as well as the availability of relatively accurate hurricane heat potential (HHP) maps, significantly increases the accuracy of the determination of the alignment number (An). The results strengthen the conclusion previously made about ETM and An as the model and similarity number basically characterizing TH development.

Key words: Tropical hurricane, rapid intensification, equilibrium translation, alignment number.

Introduction. During its life cycle, TH Ian (September 23 – 30, 2022) made successive landfalls in Cuba, southwest Florida, and South Carolina [1]. It became one of the costliest hurricanes in the history of observations with the lion's share of damage in Florida. Like its famous predecessor TH Charley (2004) [2] Ian's landfall in roughly the same area of Florida was also accompanied by RI, highlighting the still unresolved problem with predicting the parameters of such development.

Below Ian's RI during landfall is considered within the framework of ETM. The work succeeded in increasing the accuracy of An determination, which was facilitated by very specific conditions of RI occurrence and the availability of relatively accurate HHP maps.

Methods. The long-term inability to correctly predict RIs, reflecting the need to overcome the lack of understanding of the thermohydrodynamics of decisive interactions in the sea-hurricane-atmosphere system (SHAS), has attracted the author's attention since the 2000s [3-4].

At the first stage of a purely qualitative analysis, the conclusion was made that, in TH, an internal thermal drive arises in the direction of the sea surface temperature (SST) gradient (Fig. 1). Next, the presence of a negative feedback between the internal thermal drive and TH translation speed was established, which made it possible to introduce the concept of TH equilibrium translation.

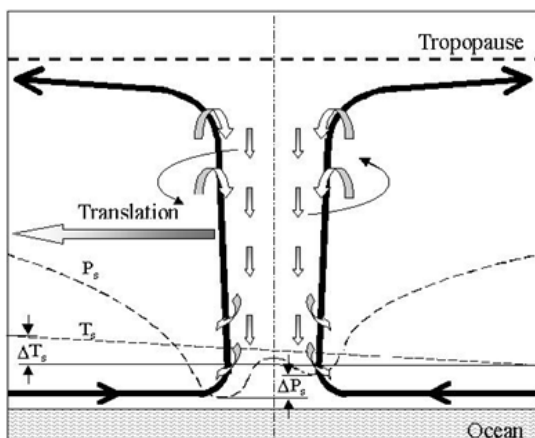


Fig. 1. Scheme of internal thermal drive.

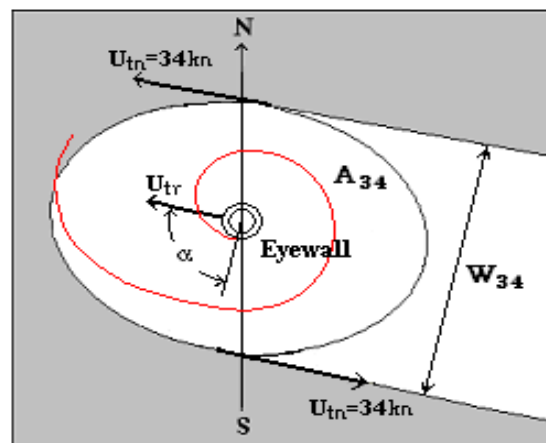


Fig. 2. The occurrence of TH lateral movement.

Next, the key assumption was made that equilibrium translation mode is the basis of RI phenomenon. In other words, it was assumed that when the main TH drive, large-scale environmental wind and internal TH thermal drive are in a certain conformity, this huge natural heat engine becomes most efficient in converting sea water heat into wind energy, resulting in RI.

The validity of the corresponding model (ETM) can be assessed by the adequacy of its final product - the dimensionless similarity number, named by the author Alignment number – An (Dr. Gvelesiani suggested calling this parameter the Shekriladze number [5]).

However, such an assessment is still hampered by the total disregard of ETM. Even the obvious interpretation of the mysterious so-called "unusual tracks" of TH by the above two, external and internal drives still has not been noticed (the problem of unusual tracks is the second, after RI, among the main unresolved problems of tropical cyclogenesis).

Considering the direction of internal thermal drive along the underlying large-scale SST gradient (Fig. 1), ETM assumes that the warmest seawater crossing the TH leading boundary further spirals within the TH to the same leading edge of the eye wall cloud, resulting in coincidence directions for both drives (the internal thermal drive is formed on the eye wall cloud and the equality $\alpha = 0$ (Fig. 2) is one of the preconditions for the equilibrium translation).

Accordingly, if similar conformity of the dynamic and thermal fields is not satisfied and the same water crosses the boundary of the eye wall cloud with a non-zero value of angle α , the internal thermal drive can be directed with virtually any deviation from the main drive generated by the large-scale environmental wind, causing "unusual" movements of TH.

It is easy to see that any "unusual track" can be explained in ETM framework by the time-varying values of the angle α and the ratio of the two drives.

At the same time, the author's main goal from the very beginning was to demonstrate the effectiveness of ETM in studying RI as the most important among unsolved problems, in order to gain the interest of tropical cyclogenesis researchers in further wide development of the model.

The basic equation for An can be written as follows [3-4]:

$$An = \frac{Q \cdot \delta S_{sc}}{A_{34} \cdot q} \quad (1)$$

where A_{34} is an area inside tangent wind velocity 34 knots (corresponding to the TH outer boundary, as assumed in regular forecast advisories) (m^2); q is integral heat flux (sensitive and latent) from the sea surface to the TH averaged inside A_{34} (w / m^2); Q is hurricane heat potential (HHP) averaged inside A_{34} (J / m^2); δS_{sc} is increment of the cooled sea surface (cooled surface remaining behind TH during unit time) (m^2 / s).

Here, the role of the tangential wind speed field is reflected by the parameter q , determined by a special empirical equation based on accounting this field [6]. The role of the combined effect of the environmental wind and internal driving force is reflected by the parameter δS_{sc} .

Finally, TH equilibrium translation accompanied by RI corresponds to a critical value $An_{cr} = const$.

Accurate and reliable establishment of such a correspondence is only possible by the relevant leading research and monitoring centers that are able to determine with high accuracy the values of all parameters of Eq. (1), including the most difficult to determine δS_{sc} , which, unfortunately, still is not done. The same centers can continuously monitor the value of An .

At the same time, in order to at least approximately verify ETM (according to the above main goal), another equation was introduced [3-4], only roughly equivalent to (1), but definable solely on the basis of publicly available information, such as regular forecast advisories and daily updated HHP maps:

$$An = \frac{Q \cdot U_{bb}}{R_{ef} \cdot q} \quad (2)$$

where U_{bb} is TH back boundary center translation speed; $R_{ef} = 2A_{34} / \pi W_{34}$ is effective radius of TH (in the case of circular TH it is equal to the radius), W_{34} is the transverse size of A_{34} .

In Eq. (2) the role of the $\delta S_c / A_{34}$ ratio is reflected by the ratio U_{max} / R_{ef} roughly proportional to it, while A_{34} , W_{34} and R_{ef} are determined by the data from the relevant forecast advisories [7] using the methods [6].

Based on Eq. (2), a number of studies [2-4,6,8-9] were conducted analyzing the life cycles of numerous real THs by constructing curves of the correlation of the maximum tangential wind speed (U_{max}) and An over time. The high repeatability of the correlation between U_{max} and An_{cr} over a sufficiently large number of THs allowed us to conclude that ETM has fundamental potential in terms of understanding and describing TH development. However, these results still could not shake the wall of total disregard.

The present study is still based on Eq. (2)

Results and discussion. The correlation between U_{max} and An during Ian's landfall can be traced by Fig. 3. The data covers a segment of Ian's life cycle from the northern coast of Cuba to Southwest Florida. The main interest, of course, is the landfall stage, which began around the 60th hour (here we assume that landfall begins with the transition to land of 10 ÷ 15% of the A_{34} area.). Time 0 in Fig. 3 corresponds to 21:00 UTC 09/25/2022.

The curves are constructed based on discrete points, each of which corresponds to a specific forecast advisory issued at a given point in time [7].

The Q parameter is determined from the hurricane heat potential (HHP) map for the previous day [10]. The standard time step for issuing the advisory is 6 hours, however, during the landfall they were issued more often, which is accordingly reflected in Fig. 3.

Ultimately, any An value corresponds to a specific advisory, and all parameters used are among the parameters available at that time to the compilers of the corresponding advisory.

An important parametric feature of Ian from the point of view of the accuracy of our analysis is the constancy of its sizes and translation speed of its center upon landfall (three filled points on each curve). Such a rare coincidence with the landfall stage allowed us to equate in Eq. (2) U_{bb} to the TH center's translation speed, reflected in the advisory itself.

As a result, we got rid of the need for an approximate determination of U_{bb} using the method [6], which tangibly improved the accuracy of determining An .

The accuracy of determining An has also been improved thanks to the availability of new, more accurate HHP maps [10] (with a richer range of colors).

Ultimately, according to our rough estimate, the accuracy of An_{cr} determination was close to $\pm 25\%$.

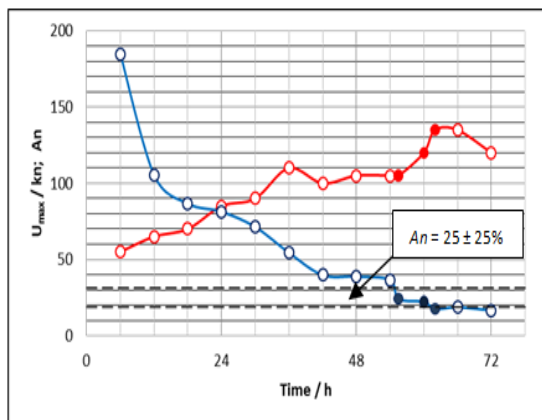


Fig. 3. Time course of U_{max} (red curve) and An (blue curve) of TH Ian before and during landfall in southwest Florida.

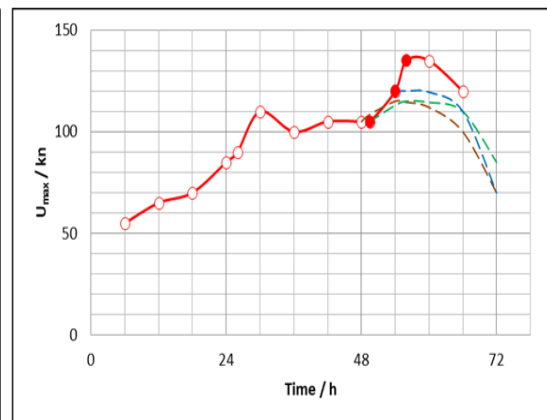


Fig. 4. forecasts of U_{max} of TH Ian according to forecast advisories № 22 (orange curve), № 23 (green curve) and № 24 (blue curve).

As follows from Fig. 3, in this case the correlation between U_{max} and An_{cr} during Ian's landfall in southwest Florida once again confirms the fundamental importance of ETM and its main outcome - An , critical value of which corresponds to RI.

The value of An_{cr} identified here is consistent within the previously established range of 25 - 35 [2-4,6,8-9], although it is more accurate. At the same time, it does not make much sense to refine the An_{cr} value determined from Eq. (2), which is itself an approximation.

Ultimately, the sought critical value must be identified by the relevant research centers which can do this using the basic Eq. (1) with much greater accuracy (by the way, in this case another absolute value of An_{cr} will be identified, without changing anything in principle, remaining the same for different THs).

Forecasts of changes in U_{max} in time published in the relevant advisories are presented in Fig. 4.

These forecasts avoided the negative publicity of the forecasts made in 2004 for the TH Charley's landfall because they correctly predicted the TH intensification before the Ian's landfall. As for the TH Ian's landfall stage itself, they again erroneously maintained the iron tradition of not predicting intensification at this stage.

Here we are faced with the most pressing problem of predicting the intensity of TH precisely in the situation when its incorrectness becomes most critical for society.

For example [8], among 38 major THs hit land in total around the globe in 2004 - 2013, 16 (42%) strengthened during landfall. In all the 38 cases, without any exception, forecast advisories predicted TH weakening, revealing principal restrictions of the theories and numerical models backing the forecasting system. Apparently, numerical models do not take into account the fundamental fact that the power output of TH, as a giant natural heat engine, depends not only on the supplied sea water heat flow, but also on the efficiency of its conversion to wind energy, capable of varying widely regardless of changes in the heat inflow.

Conclusion. The results of the work this time more accurately confirmed the previous conclusion about the fundamental potential of equilibrium translation model (ETM) in terms of predicting TH development. In addition, identifying the ability of ETM to serve for the analysis of the second most important unresolved problem, TH unusual tracks highlights the model's potential breakthrough role in the comprehensive study of tropical cyclogenesis, in general.

Normally, a breakthrough potential, even if made by a lone outsider, is verified, picked up and developed by the relevant scientific community and ultimately becomes the property of the entire society.

In contrast, ETM from the very beginning became the object of total disregard. In other words, it was buried in the so-called corporate grave (CG), depriving its author even a vital opportunity to obtain independent public confirmation or refutation of his results.

Although similar course of events is not the rarest exception in modern science, this particular case still carries a fundamental novelty when the type of scientific product buried in the CG gives the situation a completely new coloring.

As far as I know, in this case, the first time in the history of science, the object of total disregard became the similarity number of a physical phenomenon, the only one of its kind, identified over a century of wide research into this phenomenon.

By the way, in fact, it was also possible to obtain the Alignment number without developing a specific physical model, using a well-known method of theoretical physics - dimensional analysis of the physical phenomenon. It remains a mystery why such a strategic challenge was not met much earlier, which would have greatly accelerated the study of the problem.

We are faced with the situation that has greatly slowed down the study of tropical cyclogenesis.

References

- [1] Bucci L, Alaka L., Hagen A., Delgado S., Beven J. Tropical cyclone report, hurricane Ian (AL092022) 20-30 September 2022. // Miami, FL., USA, National Hurricane Center, 2023, pp. 1-72.
- [2] Shekrladze I.G. Tropical hurricane Charley (2004): Unpredicted rapid intensification. // Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.13b, 2009, pp. 122-133.
- [3] Shekrladze I.G. Thermo-hydrodynamical alignment effect – conditions of realization. // Bull. Georgian Acad. Sci., v. 169, 2004, pp. 298-302.
- [4] Shekrladze. I.G. Equilibrium translation model - a key to prediction of tropical hurricane intensity. // 27th Int. Conference Hurricanes and Tropical Meteorology, Monterey, CA, USA, Paper 14A 8, 2006, pp. 1-29.
- [5] Gvelesiani A.I. The law of four universal units and eddy characteristics of vortical motions in different médiums. // J. Georgian Geophysical Society, vol. 10B, 2005, pp. 3-19.
- [6] Shekrladze I.G. Tropical cyclone: Alignment effect and maximum potential intensity. // Bull. Georgian Acad. Sci., v. 6, N 3, 2012, pp. 61-68.
- [7] 2022 Tropical Cyclone Advisory Archive. // Miami, FL, National Hurricane Center, 2023, pp. 1-12.
- [8] Shekrladze I.G. Tropical Cyclone: Equilibrium Translation Model and Rapid Intensification during Landfall. // Bull. Georgian Acad. Sci., v. 8, N 2, 2014, pp. 63-74.
- [9] Shekrladze I.G. Rapid intensification of a tropical hurricane as self-organized development of open dissipative system. // 28th Conference Hurricanes and Tropical Meteorology, Orlando, FL, USA, Paper P2D.6, 2008, pp. 1-5.
- [10] Tropical Cyclone Heat Potential maps, North Atlantic. // Miami, FL, USA, National Hurricane Center, 2022, pp. 1-8.

**წაყინვის მახასიათებელი პარამეტრების ანომალიები კლიმატის მიმდინარე ცვლილების
ფონზე აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე**

კაპანაძე ნ., ტატიშვილი მ., მკურნალიძე ი., ფალავანდიშვილი ა.

ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, სტუ, თბილისი, საქართველო
knaili1990@gmail.com

ანოტაცია. აღმოსავლეთ საქართველოში არსებული მეტეოსადგურების 2007-2022 წწ. მონაცემების მიხედვით შესწავლილია სხვადასხვა სიმძლავრის წყინვების ინტენსივობის განაწილება. დადგენილია საკვლევ პერიოდში გაზაფხულის ბოლო და შემოდგომის პირველი წყინვის დადგომის თარიღების ნაადრევი, საშუალო და ნაგვიანები მნიშვნელობები. გამოვლენილია საშუალო მრავალწლიურიდან საშუალო მნიშვნელობების წანაცვლება აღნიშნულ პერიოდში გაზაფხულის ბოლო წყინვებისთვის უფრო წინ, ხოლო შემოდგომის პირველი წყინვებისთვის უფრო გვიან, რამაც გაზარდა უყინვო პერიოდებისა და შესაბამისად სავეგეტაციო პერიოდის ხანგრძლივობები. გამოვლენილია კლიმატის ცვლილების ფონზე უყინვო პერიოდების ზრდის ტენდენცია და ასევე, აღმოჩენილია ამ პერიოდების არქტიკულ ოსცილაციაზე დამოკიდებულება.

საკვანძო სიტყვები: წყინვა, უყინვო პერიოდი, წყინვის ინტენსივობა, არქტიკული ოსცილაცია.

შესავალი

გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის მიერ 2015 წელს მიღებული იქნა „კატასტროფის რისკის შემცირების სენდაის სამოქმედო ჩარჩო-პროგრამა - Sendai Framework 2015-2030“, რომელიც მოიცავს ბუნებრივი და ადამიანური ფაქტორებით გამოწვეული, მცირე და მსხვილმასშტაბიანი, ხშირი და იშვიათი, უეცარი და ნელი განვითარების მქონე კატასტროფების რისკის მართვის მექანიზმების შემუშავებას ყველა დონეზე და ყველა დარგში [1]. თუმცა, საფრთხეთა ტიპების, წარმოშობის პირობების, მოვლენების სახეობისა და ძირითადი შედეგების გათვალისწინებით საშიშროების საერთაშორისო კლასიფიცირებულ სტანდარტულ სიაში არ მოიაზრება სოფლის მეურნეობისათვის ისეთი საშიში მოვლენა, როგორცაა წყინვა.

ქვეყნის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან პრობლემას სიღარიბის დაძლევა და მასთან მჭიდროდ დაკავშირებული სურსათით უზრუნველყოფის საკითხი წარმოადგენს. მრავალ გარემოებასა და ფაქტორს შორის, რომლებსაც შეუძლია რადიკალური გავლენა იქონიოს და სერიოზული საფრთხე შეუქმნას აღნიშნული პრობლემის დაძლევას, მნიშვნელოვანი ადგილი სასოფლო-სამეურნეო კულტურათა ხარისხიანი და უხვი მოსავლის მიღების ტემპის შენელებას. ამის ერთ-ერთ მიზეზს კი საშიში ჰიდრო-მეტეოროლოგიური მოვლენებიდან წყინვა წარმოადგენს, რომელიც დიდ ზარალს აყენებს სოფლის მეურნეობას როგორც საქართველოში, ისე მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში. მაგალითად, 2017 წელს ვენახების და ბაღების წყინვებმა 70 მლნ. ევროს რაოდენობის ზარალი მოუტანა ავსტრიას, რომელიც ევროპაში ღვინის უმსხვილეს მწარმოებლების ათეულში შედის. ნაადრევი წყინვების პრობლემა შეექმნა საფრანგეთსაც (მწარმოებელი №1), სადაც 29%-ით ნაკლები პროდუქცია გამოუშვა წინა წლებთან შედარებით. პროექტის „World Weather Attribution“ ფარგლებში კვლევებით მიღებული მონაცემების თანახმად, კლიმატის მკვეთრი ცვლილების გამო, ნაადრევი წყინვების ალბათობამ საფრანგეთში 60% მიაღწია [2], ხოლო საქართველოში 2014 წელს წყინვებმა მოიცვა თითქმის მთელი საქართველო: ქვემო ქართლი, შიდა ქართლი, კახეთი, მცხეთა-მთიანეთი, სამცხე-ჯავახეთი, იმერეთი, სამეგრელო-ზემო სვანეთი, რაჭა-ლეჩხუმი, ქვემო სვანეთი, აჭარა. დაზიანდა აყვავებული ხეხილი, კაკალი, ტყემალი,

ალუბალი, ატამი, ვაშლი, სუბტროპიკული კულტურები, ბოსტნეული კულტურები. პალიასტომის ტბის 80% გაიყინა. არა ნაკლები ინტენსივობის წაყინვები დაფიქსირდა 2017 წელსაც.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, ცხადი ხდება, რაოდენ დიდი მნიშვნელობა აქვს გვიანი გაზაფხულისა და ადრეული შემოდგომის წაყინვების ინტენსივობის შესწავლას [3], ასევე გაზაფხულის უკანასკნელი და შემოდგომის პირველი წაყინვების დადგომის თარიღის დადგენას როგორც აღმოსავლეთ, ისე დასავლეთ საქართველოს რეგიონებისთვის, კლიმატური პირობებისა და სინოპტიკური პროცესების გათვალისწინებით.

მონაცემი და მეთოდები

ინტენსივობის მიხედვით წაყინვები იყოფა სუსტ, ზომიერ, საშუალო, ძლიერ და ძალიან ძლიერ წაყინვებად [3]. აღმოსავლეთ საქართველოში არსებული მეტეოსადგურების 2007-2022 წწ. მონაცემების მიხედვით წაყინვების ინტენსივობის განაწილება რეგიონების მიხედვით მოცემულია ცხრ. 1-ში.

ცხრილი 1. წაყინვების ინტენსივობის განაწილება რეგიონების მიხედვით.

ინტენსი- ვობა	გრადაცია °C	შიდა ქართლი		ქვემო ქართლი		მცხეთა-მთიანეთი		კახეთი	
		შემოდგ. I წაყინვა (%)	გაზაფხ. ბოლო წაყინვა (%)	შემოდგ. I წაყინვა (%)	გაზაფხ. ბოლო წაყინვა (%)	შემოდგ. I წაყინვა (%)	გაზაფხ. ბოლო წაყინვა (%)	შემოდგ. I წაყინვა (%)	გაზაფხ. ბოლო წაყინვა (%)
სუსტი	0.1-(-1.0)	45 (70)	29 (45)	17 (55)	18 (58)	15 (50)	20 (65)	32 (56)	38 (67)
ზომიერი	-1.1-(-3.0)	13 (20)	27 (42)	14 (45)	13 (42)	12(40)	9 (29)	23(40)	17 (30)
საშუალო	-3.1- (-4.0)	2 (3)	4 (6)				2 (6)	1 (2)	2 (4)
ძლიერი	-4.1- (-8.0)	4 (6)	4 (6)			3 (10)		1 (2)	
ძალიან ძლიერი	(> -8.0)								

როგორც ცხრილიდან ჩანს, წაყინვიან დღეთა უმრავლესობა აღმოსავლეთ საქართველოს ყველა რეგიონში სუსტი ინტენსივობისაა. შემოდგომის პირველი წაყინვები იცვლება 15- დან (50%) 45-მდე (70%), ხოლო გაზაფხულის ბოლო წაყინვები - 18-დან (58%) 38-მდე (67%). შედარებით მცირეა ზომიერი ინტენსივობის წაყინვების შემთხვევათა რიცხვი. რაც შეეხება საშუალო ინტენსივობის წაყინვებს, მთელ აღმოსავლეთ საქართველოს საკვლევ მეტეო-სადგურებზე მხოლოდ 11 შემთხვევაა დაფიქსირებული. აღნიშნულ პერიოდში. ძლიერი წაყინვები ჭარბობდა შიდა ქართლში, სადაც ჰაერის ტემპერატურა -5 °C - ზე დაბლა დაეცა (25/ IV/2017წ.), განსაკუთრებით გორის მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე, რამაც გამოიწვია სასოფლო-სამეურნეო კულტურების 80-90%-ით დაზიანება. ყინვა იმდენად ძლიერი იყო, რომ სათბურებშიც კი შეაღწია. ძალიან ძლიერი წაყინვები აღნიშნულ პერიოდში აღმოსავლეთ საქართველოს განხილულ მეტეოსადგურებზე არ დაფიქსირებულა.

ინტენსივობის ხარისხიდან გამომდინარე, წაყინვებმა შეიძლება ნაწილობრივ ან მნიშვნელოვნად დააზიანოს სასოფლო-სამეურნეო კულტურები, მთლიანად გაანადგუროს ან შეამციროს მათი მოსავლიანობა. განსაკუთრებით საშიშია გვიან გაზაფხულის და ადრეული შემოდგომის ყინვები, რომლებიც ემთხვევა მცენარეთა აქტიური ზრდის პერიოდს. ისინი ზღუდავენ აგროკლიმატური რესურსების გამოყენებას კონკრეტული ტერიტორიის ვეგეტაციის პერიოდში. ამიტომ უაღრესად მნიშვნელოვანია ინფორმაცია გაზაფხულზე მათი შეწყვეტისა და შემოდგომაზე გაჩენის დროის შესახებ. ეს ინფორმაცია ასევე გამოიყენება ტერიტორიის ყინვების საშიშროების შესაფასებლად, სითბოს მოყვარული კულტურების განთავსების შესახებ გადაწყვეტილების მისაღებად, სასოფლო-სამეურნეო კულტურების თესვისა და მოსავლის დროის შესარჩევად, დაცვის მეთოდების შესარჩევად, რათა შემცირდეს მიყენებული შესაძლო ზიანი.

ცხრ. 2-ში მოცემულია აღმოსავლეთ საქართველოს ზოგიერთი მეტეოროლოგიური სადგურისთვის გაზაფხულის ბოლო და შემოდგომის პირველი წაყინვის დადგომის თარიღების ნაადრევი, საშუალო და ნაგვიანები მნიშვნელობები, რომელთა შედარებამ საშუალო მრავალწლიური მონაცემების (1891-1960 წწ.)

შესაბამის მნიშვნელობებთან გვიჩვენა, რომ 2007-2022 წწ. პერიოდში გაზაფხულის საშუალო წაყინებმა უფრო წინ გადაინაცვლა, ხოლო შემოდგომის ბოლო წაყინების საშუალო - უფრო გვიან. ეს გადაინაცვლება შეადგენს პირველ შემთხვევაში 1 (ხაშური)-13 (დედოფლისწყარო) დღეს, ხოლო მეორე შემთხვევაში 4-20 დღეს (იმავე სადგურებზე). იგივე ტენდენცია დაიკვირვება ნაადრევი და ნაგვიანები წაყინების შემთხვევაშიც. წაყინვის საშუალო მნიშვნელობების წანაცვლებამ შესაბამისად გაზარდა უყინვო პერიოდების ხანგრძლივობა თითქმის ყველა მეტეოსადგურზე (წალკისა და გორის გარდა), რაც დადასტურდა ცხრ. 3-ში მოცემული 1951-1965 წწ. და 2007-2022 წწ. უყინვო პერიოდების საშუალო, უმცირესი და უდიდესი მნიშვნელობების შედარებით.

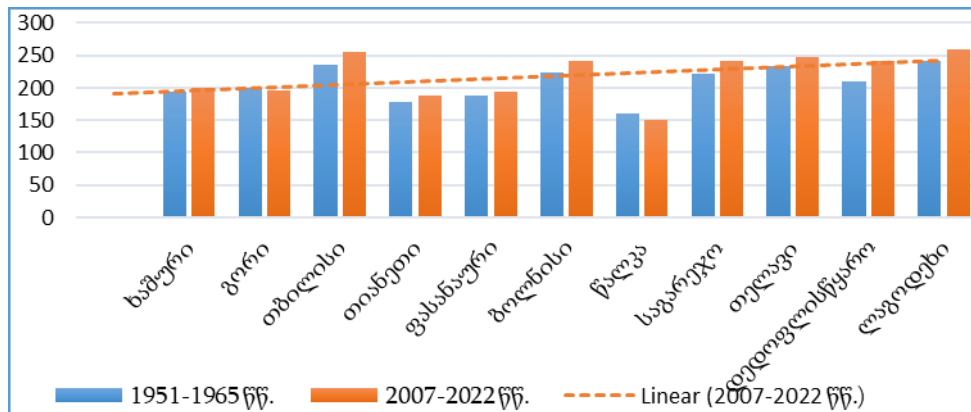
ცხრილი 2. გაზაფხულის ბოლო და შემოდგომის პირველი წაყინვის მნიშვნელობები საქართველოს მეტეოროლოგიურ სადგურებისათვის 2007-2022 წწ. პერიოდში

სად-გური	H ზ.დ. (მ)	გაზაფხულის ბოლო წაყინვის დადგომის თარიღი					შემოდგომის პირველი წაყინვის დადგომის თარიღი				
		ადრე-ული	წელი	საშ.	გვიანი	წელი	ადრე-ული	წელი	საშ.	გვიანი	წელი
ხაშური	690	18 III	2008	14 IV	11 V	2021	19 X	2015	1 XI	28 XI	2009
გორი	588	24 III	2010	12 IV	8 V	2008	23 IX	2019	24 X	25 XI	2012
თბილისი	470	4 II	2018	17 III	14 IV	2009	5 XI	2014	29 XI	29 XII	2018
თიანეთი	1099	31 III	2019	19 IV	14 V	2008	1 X	2013	25 X	17 XI	2012
ფასანაური	1070	2 IV	2012	17 IV	14 V	2008	5 X	2011	29 X	22 XI	2009
ბოლნისი	534	28 II	2018	27 III	14 IV	2009	27 X	2016	23 XI	15 XII	2022
წალკა	1457	12 IV	2014	5 V	1 VI	2008	8 IX	2011	4 X	24 X	2020
საგარეჯო	802	13 III	2018	27 III	13 IV	2011	27 X	2016	24 XI	26 XII	2010
თელავი	568	28 II	2017	20 III	5 IV	2014	20 X	2016	23 XI	15 XII	2012
დედოფ-ლისწყარო	800	23 II	2015	27 III	17 IV	2013	26 X	2016	25 XI	17 XII	2010
ლაგოდეხი	437	19 II	2018	11 III	28 III	2012	3 XI	2016	27 XI	30 XII	2018

ცხრილი 3. უყინვო პერიოდების საშუალო, უმცირესი და უდიდესი მნიშვნელობების შედარება პირველ (1951-1965 წწ.) და მეორე (2007-2022 წწ) პერიოდს შორის

სადგური	უყინვო პერიოდის ხანგრძლივობის საშ. მნიშვნელობები პერიოდების მიხედვით დღე (%)			უყინვო პერიოდის ხანგრძლივობის უმცირესი მნიშვნელობები პერიოდების მიხედვით დღე (%)			უყინვო პერიოდის ხანგრძლივობის უდიდესი მნიშვნელობები პერიოდების მიხედვით დღე (%)		
	I	II	II-I	I	II	II-I	I	II	II-I
ხაშური	194	200	6 (3)	154	164	10 (7)	238	224	14 (6)
გორი	200	196	-4 (-2)	187	173	-14 (-8)	232	227	5 (2)
თბილისი	236	255	19 (8)	201	213	12 (6)	327	285	47 (14)
თიანეთი	179	188	9 (5)	149	158	9 (6)	229	208	21 (9)
ფასანაური	188	194	6 (3)	164	166	2 (1)	229	222	7 (3)
ბოლნისი	224	241	17 (8)	191	207	16 (8)	289	271	18 (6)
წალკა	160	150	-10 (-7)	126	120	-6 (-5)	179	179	0 (0)
საგარეჯო	222	241	19 (8)	193	208	15 (8)	278	259	19 (7)
თელავი	233	247	14 (6)	199	211	12 (6)	286	279	7 (2)
დედოფლისწყარო	209	242	33 (16)	184	203	19 (10)	283	239	44 (16)
ლაგოდეხი	242	259	17 (7)	202	216	14 (7)	313	279	34 (11)

როგორც ცხრ. 3 გვიჩვენებს, 2007-2022 წწ პერიოდში, განვლილ პერიოდთან შედარებით დაფიქსირდა უყინვო პერიოდის ხანგრძლივობის გაზრდა 6-დან 33 დღემდე, რაც შეესაბამება 3-- 16 % . ასევე გაიზარდა უყინვო პერიოდის უმცირესი და უდიდესი მნიშვნელობები 2(1%) -დან 19(10%)-მდე და 5(2%) -დან 44(16%)-მდე შესაბამისად. ყოველივე ეს გვაძლევს იმის თქმის საშუალებას, რომ კლიმატის მიმდინარე ცვლილება გარკვეულ გავლენას ახდენს წაყინვის მახასიათებელ პარამეტრებზე, რაც გამოიხატება საშუალო, ადრეული და ნაგვიანები წაყინვის თარიღების წანაცვლებითა და უყინვო პერიოდების ხანგრძლივობის გაზრდით. აღნიშნულის საილუსტრაციოდ ნახ. 1-ზე წარმოდგენილია 2007-2022 წწ. და 1951-1965 წწ .უყინვო პერიოდების განაწილება,სადაც გამოვლინდა ზრდის ტენდენცია 1951-1965 წწ. უყინვო პერიოდის მიმართ.



ნახ. 1. უყინვო პერიოდების ცვლილება (2007-2022 წწ.) და (1951-1965 წწ.) შორის

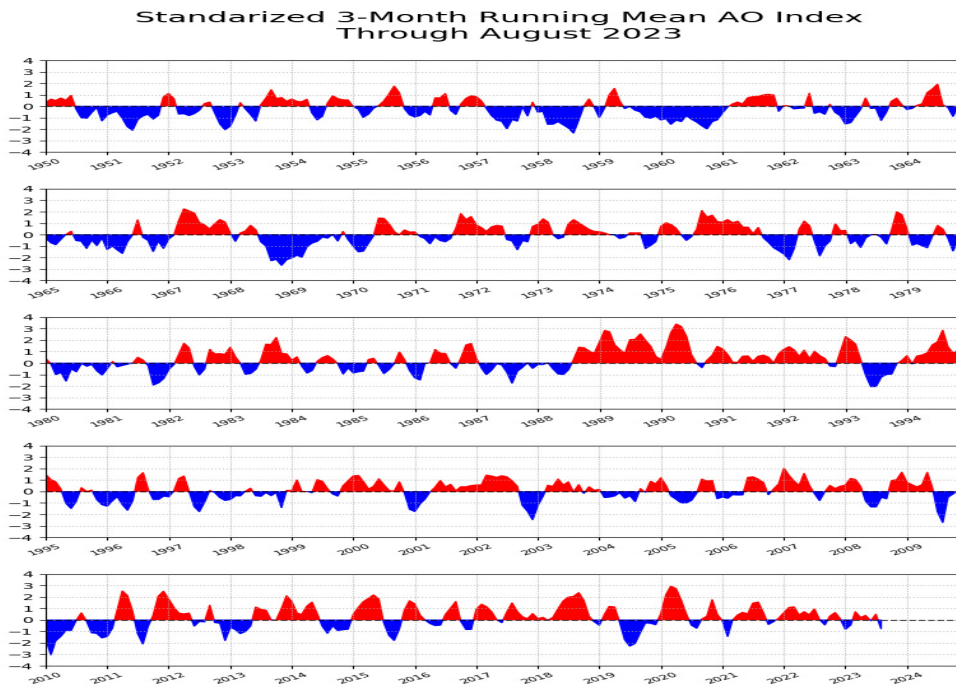
განხილვა

სამეცნიერო ლიტერატურიდან [4,5] ცნობილია, რომ წაყინვების ფორმირების ძირითად მიზეზს წარმოადგენს ეფექტური გამოსხივება, რომელიც არის სხვაობა დედამიწის ზედაპირის გამოსხივებასა და ატმოსფეროს გამოსხივებას შორის. იგი ძალიან ძლიერ ვლინდება უღრუბლო წყნარ ამინდში და განსაკუთრებით შესამჩნევია მშრალი განედებიდან არქტიკული ჰაერის მასების შემოჭრის დროს [6].

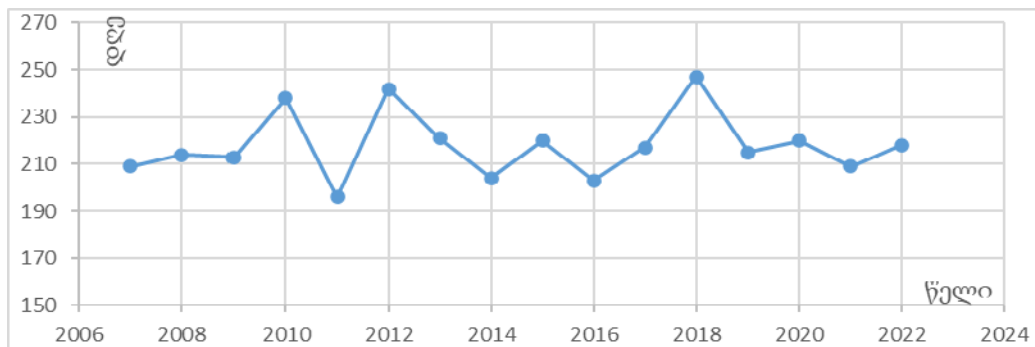
არქტიკული კლიმატის მნიშვნელოვან მაჩვენებელს, თავისი დადებითი და უარყოფითი ფაზებით, წარმოადგენს არქტიკული ოსცილაცია (AO) და განსაზღვრავს ატმოსფერული ცირკულაციის მდგომარეობას არქტიკაზე [7,8].

ყოველდღიური და ყოველთვიური AO (AAO) ინდექსები აგებულია დღიური და ყოველთვიური საშუალო 1000-hPa (700-hPa) სიმაღლის ანომალიების პროექციით წამყვან EOF (Empirical Orthogonal Function) რეჟიმში. ორივე დროის სერია ნორმალიზებულია ყოველთვიური ინდექსის სტანდარტული გადახრით (1979-2000 საბაზისო პერიოდი). NCEP/NCAR რეანალიზის მონაცემთა ნაკრები გამოყენებული იყო ჰორიზონტალური გარჩევადობით (lat,lon)=(2.5°X2.5°) 1979 წლიდან 2000 წლამდე პერიოდისთვის. სეზონური ციკლი ამოღებულია ყოველთვიური საშუალო სიმაღლის ველიდან. კოვარიანტული მატრიცა გამოიყენება EOF ანალიზისთვის. ვინაიდან AO-ს (AAO) ნიმუში მიიღება ყოველთვიური საშუალო სიმაღლის ანომალიის მონაცემთა ნაკრების გამოყენებით, ყოველი ნიმუშის შესაბამისი ინდექსი ხდება ერთი, როდესაც ის ნორმალიზდება ყოველთვიური ინდექსის სტანდარტული გადახრით. AO-ს (AAO) ნიმუში განისაზღვრება, როგორც პირველი წამყვანი რეჟიმი EOF თვიური საშუალო სიმაღლის ანომალიების ანალიზიდან 1000-hPa (NH) ან 700-hPa (SH). მთელი წლის განმავლობაში ყოველთვიური საშუალო ანომალიის მონაცემები გამოყენებულია შაბლონების მისაღებად. ვინაიდან AO-ს და AAO-ს აქვს ყველაზე დიდი ცვალებადობა ცივი სეზონის დროს (AO/AAO-ს ვარიაცია), დატვირთვის შაბლონები ძირითადად ასახავს ცივი სეზონის შაბლონების მახასიათებლებს [7].

გადავწყვიტეთ ჩვენს მიერ აღმოსავლეთ საქართველოსთვის გამოთვლილი AO ინდექსებისა და უყინვო პერიოდების ამსახველი გრაფიკების შედარებით (ნახ.2, ნახ. 3) დაგვედგინა არქტიკული ოსცილაცია ახდენს თუ არა გავლენას საქართველოს კლიმატზე და თუ ახდენს როგორია ეს დამოკიდებულება.



ნახ. 2. არქტიკული ოსცილაციის ინდექსების განაწილება [5,6].



ნახ. 3. უყინვო პერიოდების ცვლილება აღმოსავლეთ საქართველოში (2006-2022 წწ.).

ერთი შეხედვითაც აშკარაა, რომ ნახ. 2-ზე დომინირებს 2011-2012 წლიდან დადებითი ფაზები. 2012 წლამდე დაიკვირვება ფაზების მცირე წანაცვლება, ხოლო შემდეგ ყოველ დადებით ფაზას შედარებით ხანგრძლივი უყინვო პერიოდი შეესაბამება (ნახ. 2), რაც გვაძლევს იმის თქმის საშუალებას, რომ საქართველოს კლიმატს გარკვეულწილად გლობალური კლიმატი განსაზღვრავს [9].

ლიტერატურა

[1] კაპანაძე ნ., ტატიშვილი მ., მკურნალიძე ი. საშიში მოვლენების კლასიფიცირება საერთაშორისო სტანდარტების მიხედვით. // სტუ ჰიდრომეტ. ინსტიტუტის სამეცნ. რეფერ. შრომათა კრებული, თბილისი, ტ. 133, 2023, გვ. 117-123.

[2] მკურნალიძე ი., კაპანაძე ნ. ვენახებისა და ბაღების წაყინვებისაგან დაცვის მეთოდები. // სტუ ჰიდრომეტ. ინსტიტუტის სამეცნ. რეფერ. შრომათა კრებული, თბილისი, ტ. 133, 2023, გვ.124-128.

[3] Meladze G., Tatishvili M., Meladze M. Agroclimatic Resources Changing in Mountainous and Highmountainous Regions of Georgia in Terms of Global Warming. // Atlas International Conference on Research in Applied Sciences, ISBN: 978-625-367-017-7, IKSAD Global Publications, 2023, pp. 156-164.

[4] ელიზბარაშვილი ე. საქართველოს ჰავა. // სტუ ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, თბილისი 2017, 360 გვ.

[5] Захашвили М. А. Аэрологические условия возникновения заморозков на территории Грузинской ССР. // Труды ЗакНИГМИ, вып.15(21), 1964.

[6] Tatishvili M., Khvedelidze Z., Samxaradze I., Palavandishvili A. Influence of atmospheric circulation anomalies on weather end climate in Georgia. // სტუ ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის სამეცნიერო რეფერირებადი შრომათა კრებული, ტ.131, 2021.

[7] <https://www.weather.gov/tbw/tampabayaopage>

[8] https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/ao.shtml.

[9] 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", Tbilisi 2023, 406 p., <https://doi.org/10.52340/mng.9789941334658>

ANOMALIES OF FROST CHARACTERISTIC PARAMETERS IN THE TERRITORY OF EASTERN GEORGIA IN THE BACKGROUND OF CURRENT CLIMATE CHANGE

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

*Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia
knaili1990@gmail.com*

Abstract. Based on the meteorological stations data in Eastern Georgia, the distribution of the intensity of frosts of different power has been studied. The early, average and late values of the dates of the last spring and the first autumn frosts in the research period have been established. The mean values values from the multi-year average was revealed earlier for the last spring frosts and later for the first autumn frosts in the mentioned period, which increased the duration of frost-free periods and, accordingly the duration of the vegetation period. The trend of increasing ice-free periods against the backdrop of climate change is revealed and the dependence of these periods on Arctic Oscillation is also found.

Key Word: Freezing, frost-free period, freezing intensity, Arctic Oscillation.

მშრალი ელჭექი რობორც ტყის ხანძრის გამომწვევი მიზეზი

მკურნალიძე ი., კაპანაძე ნ.

ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, სტუ, თბილისი, საქართველო
I.Mkurnalidze@gmail.com

ანოტაცია. მოცემულ ნაშრომში განხილულია ტყის ხანძრების პრობლემა. აღწერილია ხანძრების ერთ-ერთი გამომწვევი მიზეზი – ე.წ. მშრალი ელჭექი. წარმოდგენილია ამ მოვლენის ფიზიკური არსი და წარმოქმნის პირობები. მოყვანილია ზოგიერთი სტატისტიკური მონაცემი ტყის ხანძრების შესახებ მსოფლიოს სხვადასხვა რეგიონისათვის. მოცემულია ხანძარსაშიშროების ერთ-ერთი ინდექსის გამოსათვლელი ფორმულა. მითითებულია ხანძარისაგან დაცვის ძირითადი რეკომენდაციები.

საკვანძო სიტყვები: ტყე, ხანძარი, მშრალი ელჭექი.

ტყის ხანძრების პრობლემა ერთ-ერთი უძველესია კაცობრიობის არსებობის მრავალსაუკუნოვანი ისტორიის მანძილზე. ცეცხლი ოდითგანვე ემსახურებოდა ადამიანს. მისი წყალობით შეძლო გათბობა, დაცვა მტაცებლებისაგან, შეცვალა კვების გზა და, რა თქმა უნდა, გაანათა ბნელი ღამეები. დღემდე იყენებს ადამიანი ცეცხლს დადებითი მიზნებისათვის, კერძოდ, სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების ტყის ტერიტორიების გაწმენდისა და ტყის საძოვრების გაუმჯობესებისათვის.

ამავე დროს, ხანძარი, რომელიც სპონტანურად ვრცელდება ტყეში, დიდ საფრთხეს წარმოადგენს, იწვევს ეკოსისტემების დეგრადაციას ან დაკარგვას, ანადგურებს ფლორას და ფაუნას (ნახ. 1), ზრდის ნიადაგის ეროზიას, უზარმაზარ მატერიალურ ზარალს აყენებს ქვეყანას, გარემოს, ადამიანების ჯანმრთელობასა და სიცოცხლეს.



ნახ. 1 ხანძარი ანადგურებს ფლორას და ფაუნას.

ტყის ხანძრების პრობლემა განსაკუთრებით ბოლო 2-3 ათწლეულის მანძილზე გახდა აქტუალური. სახანძრო უსაფრთხოების პრობლემები უფრო გამძაფრდა, თანდათან იზრდება ეკონომიკური დანაკარგების მოცულობები, როგორც ტყის მასივების ასევე დასახლებული ტერიტორიების განადგურებით გამოწვეული. ეს პრობლემა შეეხო მსოფლიოს უმეტეს ქვეყანას და რეგიონს. მაგალითისათვის შეგვიძლია გავიხსენოთ ამა წლის (2023) მსხვილმასშტაბიანი ძლიერი ხანძრები კანადაში, ამერიკაში, ესპანეთში, პორტუგალიაში, იტალიაში, საბერძნეთში, თურქეთში, ციმბირში.

განადგურდა ტყის უზარმაზარი ფართობები, დაიღუპა უამრავი ცხოველი, მნიშვნელოვანია ადამიანთა მსხვერპლი. [1]

ტყის ხანძრების გაჩენის ძირითად მიზეზად სახელდება ანთროპოგენული ფაქტორი (ადამიანის ზემოქმედებით). უმეტეს შემთხვევაში ხანძარი იწყება მცირე ნაპერწკლით მიტოვებული კოცონიდან, სიგარეტის ნამწვავით, ელექტრული ნაპერწკალით ან სხვა ქმედებით. ცეცხლი არის დამანგრეველი სტიქია, რომელიც არ ითმენს დაუდევრობას, განსაკუთრებით იქ, სადაც არსებობს ცეცხლის სწრაფი გავრცელების პირობები. გარდა ანთროპოგენული ფაქტორისა, ტყის ხანძარს აჩენს ბუნებრივი ფაქტორებიც, კერძოდ, ელჭექი და ვულკანი. ელვის ტემპერატურა დაახლოებით 30000°C აღწევს, რაც 5-ჯერ აღემატება ტემპერატურას მზის ზედაპირზე. მშრალ პერიოდში ელვის განმუხტის შედეგად ცეცხლმოკიდებული ხე შეიძლება გახდეს ტყის გამანადგურებელი ხანძრის მიზეზი (ნახ.2). ვულკანიდან ამოფრქვეული ლავას კი შეუძლია გამოიწვიოს მთელ მცენარეული საფარის გადაწვა [2].



ნახ. 2 ელვა ცეცხლს უკიდებს ხეს.

განსაკუთრებულ საშიშროებას წარმოადგენს ე.წ. მშრალი ელჭექი, რომელიც ამ ბოლო წლებში უამრავი მასშტაბური ხანძრის მიზეზი გახდა ამერიკაში, ევროპაში, ავსტრალიაში [https://dailystorm.ru/obschestvo/suhie-grozy-glavnye-ubiyc].

მშრალ ელჭექს თან სდევს ჭექა-ქუხილი, მაგრამ წვიმის გარეშე ან ძალიან მცირე ნალექით, რადგან ნალექი ამ დროს ატმოსფეროში ორთქლდება და ვერ აღწევს დედამიწის ზედაპირამდე. ამ მოვლენას მეტეოროლოგიაში ვირგას უწოდებენ. მშრალი ელჭექი ჩნდება ტროპიკული ჰაერის მასაში განვითარებულ იზოლირებულ გროვა-საწვიმარ ღრუბელში, ჰაერის მაღალი ტემპერატურისა (არა ნაკლებ 30°C) და დაბალი ტენიანობის პირობებში (ნახ. 3).



ნახ. 3 როგორც წესი მშრალი ელჭექი ჩნდება მშრალ ამინდში.

ძლიერი აორთქლების გამო წარმოიქმნება ტემპერატურების დიდი სხვაობა ღრუბლის ქვეშ და მის წინა არეში. რის შედეგად ჩნდება ძლიერი შვევალი (13-18 მ/წმ და მეტი სიჩქარით). ამასთან ერთად, ელექტრული ველი ღრუბელსა და დედამიწას შორის, შეიძლება იმდენად ძლიერი იყოს, რომ ელექტრულმა ძალებმა გაარღვიოს ჰაერის ფენა და დაიწყოს ელექტრული განმუხტვა. ნაპერწკლის გამოჩენამდე ძაბვა ღრუბლის ზედა და ქვედა ნაწილებს შორის შეიძლება 100 მილიონ ვოლტამდე გაიზარდოს. ასეთ პირობებში წარმოქმნილი ელქექები ხანძრების გაჩენის მიზეზი ხდება. ძლიერი ქარი კი ხელს უწყობს ცეცხლის სწრაფ არაკონტროლირებად გავრცელებას, რის გამოც მას პლანეტის ტყეების მკვლელსაც უწოდებენ. „სველ“ ელქექთან შედარებით მშრალი ელქექი დადებითაა დამუხტული და 6-8 ჯერ უფრო მძლავრია, ის გამოირჩევა ენერგოტევადობით და დიდი დადებითი სითბური ექსპოზიციით. ამრიგად, დადებითი ელვები განმუხტვის ფიზიკური პარამეტრების თვალსაზრისით უფრო მეტ ხანძარსაშიშროების ხარისხით ხასიათდება. [3, 4]

ბოლო კვლევების თანახმად [<https://dailystorm.ru/obschestvo/suhie-grozy-glavnye-ubiycy-leso>] ელქექების რაოდენობა მკვეთრად იზრდება და ეს პირდაპირ უკავშირდება კლიმატის დათბობას. ჩვენი პლანეტა საშუალოდ 1,2°C გაცხელდა, ვროპაში კი შეინიშნება 2°C - ით დათბობა ინდუსტრიალიზაციამდე პერიოდთან შედარებით. ყოველივე ამის შედეგად კონტინენტზე შეიქმნა ცხელი და მშრალი პირობები, რაც ხელშემწყობ გარემოს წარმოადგენს ტყის ხანძრების გააქტიურებისათვის. მაგალითისთვის: პორტუგალიაში 2017 წელს ძლიერი ხანძარი, რომლის დროსაც 62 ადამიანი დაიღუპა, გამოიწვია მშრალმა ელქექმა. ელვების გამო პერიოდულად იწვის ავსტრალიის ტყეები, ხანძრების 70-80% იაკუტიაში გაჩნდა მშრალი ელქექების შედეგად. რეგიონი, რომელშიც ყველაზე ხშირად ჩნდება მშრალი ელქექები არის აშშ-ს დასავლეთი. ამერიკის “Global Forest Watch”-ს მონაცემთა თანახმად 1992-2015 წლების პერიოდში ხანძრების 44% გაჩენილია მშრალი ელქექებით. ამავე პერიოდში ადამიანის ფაქტორით გამოწვეული ხანძრებით განადგურებული ტერიტორიები 2-ჯერ გაიზარდა, ელქექებით გამოწვეული ხანძრებით განადგურებული ფართობები კი 5-ჯერ არის გაზრდილი. მშრალი ელქექის პროგნოზი ფაქტიურად შეუძლებელია. აშშ-ში არსებობს მოდელები, რომლებიც იღვება პრონოზს 3-8 დღის წინ სწრებით, მაგრამ იგი მხოლოდ ხალხის ევაკუაციის შესაძლებლობას იძლევა.

ამჟამად, ზუსტად არ არის დადგენილი რაოდენობრივი დამოკიდებულება კლიმატის დათბობასა და მშრალ ელქექებს შორის, მაგრამ კალიფორნიის უნივერსიტეტის მეცნიერების გამოთვლების თანახმად, საშუალო წლიური ტემპერატურის 1°C-ით გაზრდის შემთხვევაში ელქექების რაოდენობა 12%-ით გაიზრდება [<https://www.natureworldnews.com/articles/51498/20220622/dry-thu>].

ხანძარსაშიშროების საპროგნოზოდ სხვადასხვა ინდექსებს იყენებენ, ერთ-ერთია ე.წ. ნესტეროვის კომპლექსური მაჩვენებელი [5]

$$K = \sum_{i=1}^n (T_{0i} - t_{0i}) \times T_{0i} ,$$

სადაც T_{0i} – ჰაერის ტემპერატურა 12 საათზე ადგილობრივი დროით; t_{0i} – ნამის წერტილი (სინოტივის დეფიციტი) 12 საათზე ადგილობრივი დროით; n – დღეთა რიცხვი ბოლო წვიმის მოსვლიდან.

K ინდექსის გათვალისწინებით დადგენილია ხანძარსაშიშროების შემდეგი კლასები:

- I – $K \leq 300$ – საშიშროება არ არის;
- II – $K - 301 \div 1000$ – მცირე საშიშროება;
- III – $K - 1001 \div 4000$ – საშუალო საშიშროება;
- IV – $K - 4001 \div 10000$ – მაღალი საშიშროება;
- V – $K > 10000$ – უკიდურესი საფრთხე.

შესაბამისი კვლევების შედეგად ამ ნაშრომის ავტორებმა [5] დაასკვნეს, რომ ეს ინდექსი ხანძარსაშიშროების შესაფასებლად გამოსადეგია ნებისმიერ რეგიონისათვის.

საქართველო ერთ-ერთ ელქექსაშიშ რეგიონად ითვლება (ელქექიან დღეთა საშუალო წლიური რიცხვი 40) [6]. ბოლო წლებში მომხდარი ხანძრები გაჩნდა ყველაზე ელქექსაშიშ რეგიონში – სამხრეთ საქართველოს მთიანეთის მიუწვდომელ ადგილებში. ამიტომ დიდი ალბათობით შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ ხანძრების გაჩენის ინიციატორი იყო ე.წ. მშრალი ელქექი.

ტყის ხანძრების პრევენცია არის როგორც სამთავრობო, ასევე საზოგადოებრივი ორგანიზაციების ამოცანა. აუცილებელია ტყეების დაცვის და შენარჩუნებისაკენ მიმართული ზომების მიღება, ხანძარდამცავ სამსახურების სათანადო ფინანსირების უზრუნველყოფა, ტყის მასივების მდგომარეობის სისტემატური მონიტორინგი, ტყის ზონებში ადამიანების მოქმედებების კონტროლი და რაც ყველაზე მთავარია, თითოეული ადამიანის ცნობიერების ამაღლება ტყეების გადასარჩენად აუცილებელი ხანძრის-საწინააღმდეგო წესების მკაცრი დაცვის გათვალისწინებით. ერთი სიტყვით, ტყის ხანძრის თავიდან აცილება მოითხოვს ღონისძიებების ინტეგრირებულ პროგრამას, რომელიც მოიცავს საზოგადოების ინფორმირებულობის პოპულარიზაციას, ადრეული გაფრთხილების სისტემებამდე, განსაკუთრებით კლიმატის ცვლილების პირობებში [7,8].

ლიტერატურა

- [1] MacCathy J., Richter J., Tuikavina S., Weisse M., Harris N. The Latest Data Confirms: Forest Fires Are Getting Worse. // World Resource Institute, august 29, 2023//
- [2] Братшпис С. Природные пожары: причины, борьба с ними и советы по безопасности на природе. // Источник: <https://journal.sovcombank.ru/esg/prirodnie-pozhari-prichini-borba-s-nimi-i-soveti-po-bezopasnosti-na-prirode?ysclid=lmz3i2gyax247494729>
- [3] Базелян Э., Райзер Ю. Физика молнии и молниезащиты. // М, ФИЗМАТ- ЛИТ, 2001, 320 стр.
- [4] მკურნალიძე ი. ელჭექების შესწავლის მოკლე ისტორია და თანამედროვე მდგომარეობა. // საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის სამეცნიერო რეფერირებადი შრომათა კრებული, №127, 2019, გვ. 67-71.
- [5] Стручков А.А., Николаев А.А. Оценка лесопожарного состояния горного улуса республики Саха (Якутия). // Вестник СВФУ, №21(22), 2021, 32стр.
- [6] ტატიშვილი მ., ქართველიშვილი ლ., მკურნალიძე ი., მესხია რ. სეტყვისა და ელჭექური პროცესების დინამიკა და სტატისტიკური განაწილება საქართველოში კლიმატის გლობალური ცვლილების ფონზე. // მონოგრაფია, „მწიგნობარი“, თბილისი, 2018, 145 გვ.
- [7] ამირანაშვილი ა., ბლიაძე თ., დავითაშვილი მ., ხახიაშვილი მ. ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის ცვალებადობა კახეთში კლიმატის ცვლილების ფონზე. // მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, შრომები, ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, ISSN 1512-1135, ტ. LXXV, თბილისი, 2022, გვ. 117 – 136.
- [8] 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>

DRY THUNDERSTORM AS A CAUSE OF FOREST FIRES

Mkurnalidze I., Kapanadze N.

*Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia
I.Mkurnalidze@gmail.com*

Abstract. *The problem of forest fires is discussed in this paper. One of the causes of the fire is described - the so-called dry Thunderstorm. The physical essence of this event, the conditions of its origin are presented. Here are some forest fire statistics for different regions of the world. The formula for calculating one of the fire hazard indices is given. Basic fire prevention measures are indicated.*

Key Words: *Forest, Fire, Dry Thunderstorm.*

**საქართველოს ბუნებრივი საშიშროებების მოვლენების ახალი მონაცემთა ბაზა (GeNH):
კატალოგების შედგენის პრინციპები და შედეგები**

***ვარაზანაშვილი ო., **გაფრინდაშვილი გ., ***ელიზბარაშვილი ე., *ამირანაშვილი ა.,
****ბასილაშვილი ც., ****ფუქსი ს.**

**მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო*

***გარემოს ეროვნული სააგენტო, თბილისი, საქართველო*

****ვახუშტი ბაგრატიონის გეოგრაფიის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო*

*****ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, სტუ, თბილისი, საქართველო*

*****სამთო რისკების ინჟინერიის ინსტიტუტი, ბუნებრივი რესურსების და სიცოცხლის მეცნიერებების უნივერსიტეტი, ვენა, ავსტრია
otarivar@yahoo.com*

ანოტაცია: წარმოდგენილია საქართველოს რესპუბლიკის ბუნებრივი საშიშროებების მოვლენების ახალი მონაცემთა ბაზა და ნაჩვენებია შეგროვებული მონაცემების ინტერპრეტაციისათვის აუცილებელი ზონირების შედეგები

საკვანძო სიტყვები: ბუნებრივი საშიშროება, მეწყერი, ღვარცოფი, წყალმოვარდნა, გრიგალური ქარი, სეტყვა.

საქართველოს რესპუბლიკის ბუნებრივი საშიშროებების მოვლენების პირველი მონაცემთა ბაზა (GeNHs) მოიცავს პარამეტრულ კატალოგებს ხუთი ტიპის ბუნებრივი საშიშროების მოვლენების (მეწყერი, ღვარცოფი, წყალმოვარდნა, გრიგალური ქარი და სეტყვა), რომლებმაც გამოიწვია მნიშვნელოვანი ეკონომიკური ზარალი და მსხვერპლი საქართველოში ბოლო ათწლეულებისა და საუკუნეების განმავლობაში, შესაბამისად. ამ მოვლენების კატალოგების შედგენა ინოვაციურია, რადგან ფარავს მთელ ქვეყანას, დროულია და შეიძლება გამოყენებულ იქნას სამოქალაქო დაცვის ორგანოების, რისკების მენეჯერების და სხვა დაინტერესებული მხარეების მიერ ბუნებრივი საშიშროებების და რისკების მართვის, ასევე გადაწყვეტილების მიღებისთვის და ეფექტური და ქმედითი შემარბილებელი ღონისძიებების გატარებისთვის.

მონაცემთა ბაზაში შეტანილი მონაცემები შეგროვდა მათი ხარისხის მინიმალური მოთხოვნების საფუძველზე. მონაცემთა ხარისხი მოიცავდა ინფორმაციას მოვლენის ადგილის, დროისა და სიდიდის (მაგნიტუდა, ინტენსივობა) შესახებ თითოეული ტიპის საშიშროებისთვის. განხორციელდა მაგნიტუდური კლასიფიკაცია და შესაბამისი მონაცემების ჰარმონიზაცია. თითოეული ბუნებრივი საშიშროების ტიპისა და მოვლენისთვის შეგროვდა ძირითადი პარამეტრების ყველაზე სანდო მნიშვნელობები, რომლებიც განისაზღვრა ხელმისაწვდომი ინფორმაციის სიმრავლიდან. ასეთი ინფორმაცია მოიცავდა მოვლენის მოხდენის თარიღს (წელი, თვე, დღე), მოვლენის მოხდენის დროს (საათი), მოხდენის ადგილს (გეოგრაფიული კოორდინატები), მაგნიტუდას და ინტენსივობას [1, 2], დაზიანების არეს და მასთან დაკავშირებულ დანაკარგებს (დაღუპულთა რაოდენობა; ეკონომიკური ზარალი).

მეწყერების კატალოგში შეგროვდა 1900 წლიდან 2023 წლამდე პერიოდისთვის, 1635 მოვლენა. მეწყერის მაგნიტუდად (M_{LL}) აღებულია მისი მოცულობის (m^3) ლოგარითმი. იგი ისაზღვრება მაგნიტუდურ დიაპაზონში 2.00-დან 8.70-მდე, ხოლო კატალოგში მეწყერების წარმომადგენლობა იწყება მაგნიტუდა $M_{LL}>5$ -დან.

ღვარცოფების კატალოგში შეგროვდა 1776 წლიდან და 2023 წლამდე პერიოდისთვის, 880 მოვლენა. ღვარცოფის მაგნიტუდად (M_{DF}) აღებულ იქნა ერთი მოვლენის დროს ღვარცოფული გამონატანის

მაქსიმალური მოცულობის (m^3) ლოგარითში. იგი ისაზღვრება მაგნიტუდურ დიაპაზონში 2.30-დან 7.40-მდე, ხოლო კატალოგში ღვარცოფების წარმომადგენლობა იწყება მაგნიტუდა $M_{DF}>5$ -დან.

წყალმოვარდნების კატალოგში შეგროვდა 735 წლიდან და 2022 წლამდე პერიოდისთვის, 1098 მოვლენა. წყალმოვარდნის მაგნიტუდად (M_{DF}) აღებულ იქნა წყლის მაქსიმალური ხარჯის ($m^3/წმ$) ლოგარითში. იგი ისაზღვრება მაგნიტუდურ დიაპაზონში 1.06-დან 3.78-მდე, ხოლო კატალოგში წყალმოვარდნების წარმომადგენლობა იწყება მაგნიტუდა $M_{DF}>2.5$ -დან.

გრიგალური ქარების კატალოგში შეგროვდა 1946 წლიდან 2023 წლამდე პერიოდისთვის, 1563 მოვლენა. გრიგალური ქარის მაგნიტუდად (M_{WS}) აღებულ იქნა ქარის სიჩქარე ($m/წმ$) გაყოფილი 10-ზე. იგი ისაზღვრება მაგნიტუდურ დიაპაზონში 3.00-დან 5.60-მდე, ხოლო კატალოგში გრიგალური ქარების წარმომადგენლობა იწყება მაგნიტუდა $M_{WS}>3.5$ -დან.

სეტყვის კატალოგში შეგროვდა 1891 წლიდან 2023 წლამდე პერიოდისთვის, 2186 მოვლენა. სეტყვის მაგნიტუდად (M_{HS}) აღებულ იქნა სეტყვის მარცვლის ზომა (m) გაყოფილი 10-ზე. იგი ისაზღვრება მაგნიტუდურ დიაპაზონში 0.10-დან 12-მდე, ხოლო კატალოგში სეტყვის წარმომადგენლობა იწყება მაგნიტუდა $M_{HS}>1.0$ -დან.

ეს მონაცემთა ბაზა უზრუნველყოფს საკვანძო ინფორმაციას ბუნებრივი საშიშროებებისა და რისკების შეფასების შემდგომი გაუმჯობესებისთვის, ასეთი საშიშროებების რეალიზაციის შედეგად გამოწვეული ადამიანური დანაკარგებისა და ეკონომიკური ზარალის, კლიმატის ცვლილების შესაძლო შედეგების, ასევე პროგნოზირებისა და ადრეული შეტყობინების ახალი ძალისხმევის შესაფასებლად. GeNHs მონაცემთა ბაზა ხელმისაწვდომია ონლაინ (იხ. <http://109.205.44.60/handle/123456789/10369>) და განახლდება მომავალში [3,4].

სხვადასხვა ბუნებრივი საშიშროების მოვლენების კატალოგებში შეგროვებული მონაცემების შემდგომი ინტერპრეტაციის, ანუ ბუნებრივი საშიშროებების კანონზომიერებების გამოკვლევის მიზნით განხორციელდა საქართველოს ტერიტორიის ზონირება ცალკეული ტიპის საშიშროებებისთვის. ამისთვის გამოყენებული იქნა უკვე არსებული შესაბამისი რუკები საქართველოსთვის.

კერძოდ, მეწყრების და ღვარცოფების ზონების გამოყოფა განხორციელდა საქართველოს მეწყრული და ღვარცოფული საშიშროების დარაიონების რუკების [5] ბაზაზე. თავის მხრივ ამ რუკების მომზადებაში გამოყენებულია სხვადასხვა წლებში ქვეყნის მასშტაბით დაფიქსირებული მოვლენების მონაცემები, მათი განმეორებადობა და მაპროგნოზირებელი მუდმივმოქმედი და სწრაფად ცვალებადი ფაქტორები როგორცაა: ტერიტორიის გეოლოგიური აგებულება, ტექტონიკა, სეისმურობა, მორფოლოგიური (ფერდობების დახრილობა, ფერდობების ექსპოზიცია, სიმაღლითი გავრცელება, რელიეფის დანაწევრება და სხვა) და კლიმატური პირობები. ასევე გათვალისწინებულია მოვლენების განვითარების პროცესების გააქტიურების პოტენციალი და მოსახლეობისადმი და სხვადასხვა ინფრასტრუქტურული ობიექტებისადმი მიყენებული ზარალი.

წყალმოვარდნებისთვის ზონირება განხორციელდა ძირითადად საქართველოს მდინარეთა აუზების მკვებავი ნოტიო ჰაერის მასების გადაადგილების მიმართულებისა და ზემოქმედების ინტენსივობის მიხედვით, აგრეთვე მდინარეთა წყლის ჩამონადენისა და მათი რეჟიმის თავისებურებით (აუზების ზედაპირის ხასიათი და ვერტიკალური ზონალობა, რელიეფი, კლიმატური პირობები და სხვა) [6].

გრიგალური ქარებისთვის ზონირება ჩატარდა ქარის რეჟიმული მახასიათებლების (სიჩქარე, განმეორებადობა, მაქსიმალური სიჩქარეების საერთო ფონი) საფუძველზე რელიეფის და გეოგრაფიული პუნქტის ადგილმდებარეობის გათვალისწინებით [7].

სეტყვის ზონირება განხორციელდა ძირითადად საქართველოს კლიმატის კლასიფიკაციის რუკის (ვ. კეპენის მიხედვით) ბაზაზე, რომელიც ძირითადად ეფუძნება კონცეფციას, რომ კლიმატის ტიპის საუკეთესო კრიტერიუმი არის ის, თუ რა მცენარეები იზრდება ბუნებრივად მოცემულ ტერიტორიაზე [8].

წარმოდგენილი ნაშრომი მხარდაჭერილია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიერ, საგრანტო ხელშეკრულება №FR-21-1808.

ლიტერატურა

- [1] Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Arevadze N., Gventsadze A. Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia. // J. Natural Hazards, vol. 64, Issue 3, 2012. Pp. 2021-2056. DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3
- [2] Varazanashvili O., Gaprindashvili G., Elizbarashvili E., Basilashvili Ts., Amiranashvili A. Principles of natural hazards catalogs compiling and magnitude classification. Journal of the Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, vol. 25 (1), 2022, pp. 5-11. Tbilisi, Georgian Geophysical Society, e-ISSN:2667-9973, p-ISSN:1512-1127.
- [3] Gaprindashvili G., Varazanashvili O., Elizbarashvili E., Basilashvili T., Amiranashvili A., Fuchs S. GeNHs: the first natural hazard event database for the Republic of Georgia. // EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-1614, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-1614>.
- [4] 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
- [5] Gaprindashvili M., Tsereteli E., Gaprindashvili G., Kurtsikidze O. Landslide and Mudflow Hazard Assessment in Georgia. // Building Knowledge for Geohazard Assessment and Management in the Caucasus and other Orogenic Regions (eds. F. L. Bonali, F. P. Mariotto, N.Tsereteli). Springer. Part of the NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security book series (NAPSC). Chapter 14, 2021, pp. 265-279.
- [6] Basilashvili Ts. Territorial zonality by annual runoff. National Atlas of Georgia. // Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 2018, pp. 62.
- [7] Climate and climatic resources of Georgia. // Leningrad, Gidrometeoizdat, 1971, 383 p.
- [8] Beck H.E., Zimmermann N.E., McVicar T.R., Vergopolan N., Berg A., Wood E.F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. // Scientific Data 5:180214, 2018, doi:10.1038/sdata.2018.214.

NEW NATURAL HAZARD EVENT DATABASE FOR THE REPUBLIC OF GEORGIA (GENHS): CATALOGS COMPILING PRINCIPLES AND RESULTS

*Varazanashvili O., ** , ***Gaprindashvili G., ****Elizbarashvili E., *Amiranashvili A., ****Basilashvili Ts.,
****Fuchs S.

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

***National Environment Agency, Tbilisi, Georgia*

****Vakhushti Bagrationi Institute of Geography of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*

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

******University of Natural Resources and Life Sciences, Institute of Mountain Risk Engineering, Vienna, Austria
otarivar@yahoo.com*

Abstract: New database of natural hazard events for the Republic of Georgia is presented and the results of zoning necessary for interpreting the compiled data are shown.

Key words: natural hazard, landslide, flood, water fall, gale force wind, hail.

მირის აზიმუტის განსაზღვრა დუშეთის მაგნიტურ ობსერვატორიაში

მათიაშვილი თ., ტუმური გ.

მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
tamazmatiasvili1958@gmail.com

ანოტაცია. ნაშრომში აღწერილია პოლარულ ვარსკვლავზე ჩატარებული დაკვირვების და მის შედეგად მიღებული მონაცემების გამოყენება მირას აზიმუტის განსაზღვრისათვის.

საკვანძო სიტყვები: გეომანტიური ველი, მირა, მირას აზიმუტი, პოლარული ვარსკვლავი

შესავალი

დუშეთის გეოფიზიკური ობსერვატორიის აბსოლიტური პავილიონი აგებლ იქნა გასული საუკუნის ორმოცდაათიან წლებში. აბსოლიტური პავილიონის ძირითად ფუნქციას წარმოადგენს დედამიწის მაგნიტური ველის მდგენელებისა (H,D,Z) და მაგნიტური ველის დამაბულობის (T) მოდულის მნიშვნელობათა პერიოდული აღრიცხვა და მიღებული შედეგების დახმარებით სავარაუდო მაგნიტომეტრის მონაცემთა კონტროლი და მდგენელების საბაზისო მნიშვნელობების მიღება. აღნიშნული ამოცანის შესასრულებლად პავილიონში განთავსებულია აბსოლიტური დაკვირვებისთვის საჭირო მაგნიტომეტრების სენსორები. თითოეული ბოძი დანომრილია სამხრეთ-ჩრდილოეთის მიმართულებით რიგითობის გათვალისწინებით. ძირითად ათვლის წერტილად დუშეთის ობსერვატორიაში მიღებული ბოძი N1, სადაც დამონტაჟებულია მაგნიტომეტრი THEO-015. აღნიშნული მაგნიტომეტრის დახმარებით შესაძლებელია გეომანტიური ველის მდგენელების (H, D, Z, I, X,Y) განსაზღვრა. პროტონული მაგნიტომეტრთან სინქრონული მუშაობით.

დაკვირვება მონაცემების მისაღებად აუცილებელია ზუსტად იქნას განსაზღვრული ბოძი N1-ის და მასზედ მოთავსებული ფეროზონდული მაგნიტომეტრის თეოდოლიტის ზუსტი გეოგრაფიული მდებარეობა. კერძოდ, მისი ასტრონომიული მერიდიანი. აღნიშნული მონაცემების ცოდნა აუცილებელია იმისათვის, რომ განისაზღვროს მაგნიტური მიხრილობა D, რომელიც წარმოადგენს კუთხეს მაგნიტურ და გეოგრაფიულ მერიდიანებს შორის. აღნიშნული ამოცანის სწორად გადასაწყვეტად საჭიროა ასტრონომიული დაკვირვების ჩატარება მზეზე, ან პოლარულ ვარსკვლავზე. დუშეთის ობსერვატორიის აბსოლუტური პავილიონის შენობის სპეციფიკიდან გამომდინარე მზეზე დაკვირვება ვერ ხერხდება. ამიტომ დაკვირვება ტარდება პოლარულ ვარსკვლავზე. პოლარულ ვარსკვლავზე დაკვირვებისათვის შენობის სახურავში გაკეთებულია სპეციალური ჭრილი, რათა ადვილად მოხდეს პოლარული ვარსკვლავის დაფიქსირება. იქიდან გამომდინარე, რომ პოლარულ ვარსკვლავზე დაკვირვება ყოველთვის ვერ ხერხდება, საჭიროა პავილიონის სიახლოვეს, რაიმე უძრავი, მყარად დაფიქსირებული სხეულის არსებობა, რომლის აზიმუტის ცოდნის შემთხვევაში, ყოველთვის შესაძლებელი იქნება თეოდოლიტის მდებარეობის ზუსტი განსაზღვრა.

მირას აზიმუტი ეს არის კუთხე გეოგრაფიულ მერიდიანის ვერტიკალურ სიბრტყესა და მირაზე გატარებული ვერტიკალურ სიბრტყეს შორის. რადგან გეოგრაფიული მერიდიანი ადგილზე დაფიქსირებული არ არის, საჭიროა ციურ მნათობზე, კერძოდ პოლარულ ვარსკვლავზე დროის გარკვეული ინტერვალების დაფიქსირებით დაკვირვებათა ჩატარება.

საშუალო განედებზე მირას აზიმუტზე დაკვირვება შესაძლებელია ფეროზონდული მაგნიტომეტრის თეოდოლიტით. თეოდოლიტის კოლიმაციური შეცდომის გამორიცხვის მიზნით, მირაზე და პოლარულ ვარსკვლავზე დაკვირვება წარმოებს სიმეტრიული სქემით. კერძოდ, ჭოგრის შეტრიალებით ზენიტის

გავლით 180° -ით. როგორც ცნობილია, პოლარული ვარსკვლავი დღე-ღამის განმავლობაში დაახლოებით 2° -იან წრეს შემოწერს, ამიტომ საჭიროა ჯერ ვიპოვოთ მისი აზიმუტი დაკვირვების მომენტში.

პოლარული ვარსკვლავის აზიმუტის გამოთვლა შეიძლება შემდეგი ფორმულით:

$$As = azctg \frac{\sin \delta}{\sin \gamma \cos \delta - \cos \gamma \sin \delta}$$

სადაც As - პოლარული ვარსკვლავის აზიმუტია გრადუსებში, δ - პოლარული ვარსკვლავის მდებარეობის საათობრივი კუთხე დაკვირვების მომენტში, γ - დაკვირვების წერტილის განედია გრადუსებში, δ - პოლარული ვარსკვლავის აზიმუტური კუთხეა გრადუსებში (α ursae minoris). ამის შემდგომ განისაზღვრება გეოგრაფიული მერიდიანის მდებარეობა თეოდოლიტის ჰორიზონტალურ წრეზე:

$$\Theta_{gm} = \Theta_s - As$$

სადაც Q_s პოლარულ ვარსკვლავზე დამზერის ანათვალია. ვიცით რა მირასა და გეოგრაფიული მერიდიანების ადგილმდებარეობის მნიშვნელობები თეოდოლიტის ჰორიზონტალურ წრეზე, შეგვიძლია გავიგოთ მირას აზიმუტი:

$$A = \Theta_M - \Theta_{gm}$$

სადაც Q_h მირაზე დაკვირვების მაჩვენებელია. მაგნიტური ობსერვატორია მუშაობს საშუალო მსოფლიო დროით UT, მაგრამ ასტრონომიული დაკვირვებისა და გამოთვლების დროს გამოიყენება ადგილობრივი ვარსკვლავური დროს T_s :

$$T_s = UT(1 + \mu) + \lambda + S_o$$

სადაც გადამყვანი კოეფიციენტი $\mu = 1/356,2422 = 0,00273791$ -ის, λ - დაკვირვების ადგილის განედია საათებში, S_o - ვარსკვლავური დროის მნიშვნელობაა შუადამისას გრინვიჩის მერიდიანზე. პოლარული ვარსკვლავის საათობრივი კუთხე

$$ts = T_s - \alpha$$

სადაც α პოლარული ვარსკვლავის ამოსლის კუთხეა საათებში. პოლარულ ვარსკვლავზე დაკვირვების ჩატარება სასურველია დღედაღამ სწორობის პერიოდში (მარტში ან სექტემბერში) ასევე სასურველია, რომ დაკვირვების დროითი ინტერვალი შეირჩეს ისე, რომ საათობრივი კუთხე ts ახლოს იყოს შუადამესთან, რაც შეამცირებს ცდომილებას პოლარული ვარსკვლავის აზიმუტის გამოთვლისას.

პოლარულ ვარსკვლავზე დაკვირვება ტარდება შემდეგი თანმიმდევრობით: ვიპოვოთ რა პოლარული ვარსკვლავის მდებარეობას ფეროზონდული მაგნიტომეტრის (THEO-015) ჭოგრის დახმარებით, ვიღებთ მსოფლიო დროის მნიშვნელობას და ანათვალს თეოდოლიტის ჰორიზონტალურ ლიმბზე ორი წუთის ინტერვალით ორჯერ, შემდეგ თეოდოლიტს შემოვატრიალებთ 180° -ით და იგივე პროცედურას გავიმეორებთ ოთხჯერ, რის შემდეგაც თეოდოლიტს კვლავ 180° -ით შემოვატრიალებთ და ავიღებთ კიდევ ორ ანათვალს. დაკვირვების დროს აუცილებელია თეოდოლიტის კონტროლი, რომ თეოდოლიტი იყოს მკაცრად ჰორიზონტალურ მდებარეობაში. საჭიროა, წინასწარ ვიცოდეთ მირას მდებარეობის ანათვალი თეოდოლიტზე.

ასტრონომიულ დაკვირვებათა ერთ-ერთი ცხრილი და გამოთვლებით მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში:

<p>მირას აზიმუტის განსაზღვრა. ობსერვატორია „დუშეთი“ (TFS) განედი $\varphi = 42^\circ 05' 19''$, გრძედი $\lambda = 44^\circ 42' 05'' \rightarrow 2,9801$ h დამკვირვებლები: თ. მათიაშვილი, გ. ტუშუერი. 20.09.21 ბოძი 1. თეოდოლიტი THEO-015 ასტრონომიული მონაცემები: პოლარული ვარსკვლავის (UMi) ამოსვლა $\alpha = 02:32:51 = 2,56417$ h პოლარული ვარსკვლავის (UMi) აზიმუტური კუთხე $\delta = 89^\circ 15' 46'' = 89,26283^\circ$</p>

დრო UT	მდებარეობა	ანათვალის Θ_s	სათობრივი კუთხე ts	As	Θ gm
	მირა R	231,8139 ^o			
	მირა L	51, 8139 ^o			
22h42m	UMi L	224.0161 ^o	23,7492 h	0,0662 ^o	43,9499 ^o
22h44m	UMi L	224.0169 ^o	23,7826 h	0,0573 ^o	43,9566 ^o
22h46m	UMi R	44,0261 ^o	23,8116 h	0,0486 ^o	43,5775 ^o
22h48m	UMi R	44,0010 ^o	23,8494 h	0,0398 ^o	43,9612 ^o
22h50m	UMi R	44,0050 ^o	23,8828 h	0,0309 ^o	43,9741 ^o
22h52m	UMi R	43,9956 ^o	23,9163 h	0,0221 ^o	43,9735 ^o
22h57m	UMi L	223.3644 ^o	23,9998 h	0,0000 ^o	43,9644 ^o
22h59m	UMi L	223.3611 ^o	24,0333 h	-0,0087 ^o	43,9698 ^o
	მირა R	291,7333 ^o			$\Theta_{gm}=43,9658^o$
	მირა L	1117319 ^o			

$$\Theta(MI) = 51,8139^o \quad AM(I)=7,8481^o = 7^o50'53''$$

$$\Theta(MII) = 111,7321^o \quad AM(II)=67,7663^o = 67^o46'00''$$

მიღებულმა შედეგებმა გვიჩვენა, რომ მიხრილობის კუთხის (D) განსაზღვრისათვის დუშეთის მაგნიტურ ობსერვატორიაში გვაქვს მირათა შემდეგი აზიმუტები:

$$1 - AM(I)=7,8481^o = 7^o50'53'', \quad 2 - AM(II)=67,7663^o = 67^o46'00''$$

ლიტერატურა

[1] ნოდია მ. დედამიწის მაგნეტიზმი. // თბილისი, 1959 წ.

[2] Нечаев А.С. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. // Иркутск, 2006 г.

[3] Jankowski J., Sucksdoff Chr. Guide to magnetic measurements and observatory practice. // Warsaw, 1996.

DETERMINATION OF THE AZIMUTH OF MIRA AT THE DUSHETI MAGNETIC OBSERVATORY

Matiashvili T., Tushuri G.

Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
tamazmatiashvili1958@gmail.com

Abstract. The article describes observations of the polar star and the use of data obtained during observations to determine the azimuth of Mira.

Key words: geomagnetic field, Mira, azimuth of Mira, polar star.

THE RELATIONSHIP BETWEEN EARTH'S MAGNETIC FIELD VARIATIONS AND SOLAR ACTIVITY

Kiria T., Zerakidze Z., Nikolaishvili M., Kiria J.

*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
kiria8@gmail.com*

***Abstract.** This scientific article investigates the intricate connection between Earth's magnetic field variations and solar activity through a comprehensive analysis of empirical data and mathematical models. It employs advanced statistical analytics and hypothesis testing to elucidate the underlying mechanisms driving this phenomenon. By exploring the complex interplay between solar phenomena and Earth's magnetic field, we aim to advance our understanding of the dynamics governing this crucial aspect of our planet's environment.*

***Keywords:** Earth's magnetic field, solar activity, sunspot numbers, solar irradiance, solar flares, time series analysis, hypothesis testing, space weather, correlation analysis, regression analysis.*

1. Introduction

Earth's magnetic field plays a pivotal role in protecting our planet from harmful solar radiation and cosmic particles. Variations in this magnetic field have long intrigued scientists, with numerous hypotheses proposed to explain their fluctuations. Among these hypotheses, one of the most compelling suggests a strong link between solar activity and magnetic field variations. However, the nature and extent of this relationship have remained subjects of active investigation.

1.1 Significance and Scientific Novelty

Understanding the relationship between solar activity and Earth's magnetic field is of paramount significance for several reasons:

Space Weather Prediction: Accurate predictions of space weather, which can adversely affect satellites, communication systems, and power grids, hinge on a thorough understanding of the underlying mechanisms. If a robust connection between solar activity and magnetic field variations is established, it could significantly improve space weather forecasting.

Fundamental Geophysics: Earth's magnetic field is not only essential for protecting the biosphere but also plays a crucial role in the planet's geological processes. A clearer comprehension of the drivers behind magnetic field variations contributes to our understanding of Earth's internal dynamics.

1.2 Scientific Novelty

While previous studies have explored the potential link between solar activity and Earth's magnetic field, our research contributes to the field in the following ways:

Comprehensive Analysis: We conduct a comprehensive analysis that incorporates various aspects of solar activity, including sunspot numbers, solar irradiance, and solar flares, to assess their collective influence on magnetic field variations.

Mathematical Modeling: We develop robust regression models to quantitatively measure the impact of solar parameters on magnetic field fluctuations. These models allow us to estimate the relative contributions of each solar factor.

2. Methods

2.1 Data Collection

Magnetic field data spanning several decades were collected from global observatories.

Solar activity data, including daily sunspot numbers, solar irradiance, and solar flare occurrences, were obtained from reputable sources such as NASA and NOAA.

2.2 Statistical Analysis

Various statistical techniques were applied to assess the relationship between Earth's magnetic field and solar activity.

Hypothesis testing was conducted to establish the statistical significance of the results.

3. Results

3.1 Correlation Analysis

Initial analysis revealed a statistically significant correlation between solar activity and variations in Earth's magnetic field.

Table 1. Displays the correlation coefficients for key parameters:

Parameter	Correlation Coefficient (r)
Sunspot Numbers	0.75
Solar Irradiance (W/m ²)	0.62
Solar Flare Occurrences	0.53
Magnetic Field Variations (T)	0.68

3.2 Regression Analysis

Multiple regression models were constructed to quantify the impact of various solar parameters on magnetic field fluctuations.

The model is represented by the equation:

Multiple regression models were constructed to quantify the impact of various solar parameters on magnetic field fluctuations.

The model is represented by the equation:

$$B(t) = \alpha + \beta_1 * \text{SunspotNumbers}(t) + \beta_2 * \text{SolarIrradiance}(t) + \beta_3 * \text{SolarFlares}(t) + \epsilon(t)$$

Where:

- $B(t)$ is the magnetic field at time t ,
- α is the intercept,
- β_1, β_2 , and β_3 are the regression coefficients for sunspot numbers, solar irradiance, and solar flares,
- $\epsilon(t)$ represents the error term.

4. Hypothesis Testing

4.1 Hypothesis 1: Solar Activity Drives Magnetic Field Variations

Null Hypothesis (H0): Solar activity has no effect on Earth's magnetic field variations.

Alternative Hypothesis (H1): Solar activity significantly influences Earth's magnetic field variations.

Results provided strong evidence to reject the null hypothesis in favor of the alternative hypothesis ($p < 0.05$).

4.2 Hypothesis 2: Time Lag Effect

Null Hypothesis (H0): There is no time lag between solar activity and magnetic field variations.

Alternative Hypothesis (H1): There is a time lag effect between solar activity and magnetic field variations.

Time lag analysis supported the alternative hypothesis, revealing a consistent lag of approximately 6 months in magnetic field responses to solar fluctuations.

5. Discussion

The findings of this study demonstrate a significant and multifaceted relationship between solar activity and Earth's magnetic field variations. This relationship is not only statistically significant but also substantiated by mathematical models. The existence of a time lag effect further underscores the intricate nature of this connection.

6. Conclusion

This research provides robust empirical evidence of a substantial relationship between Earth's magnetic field variations and solar activity. These findings enhance our understanding of the Earth-Sun interaction and hold potential implications for space weather forecasting and the long-term stability of Earth's magnetic field.

Further research in this area should aim to elucidate the specific mechanisms governing solar activity's impact on magnetic field variations and explore practical applications of this knowledge.

References

- [1] Cliver E.W., Svalgaard L. The 1859 solar-terrestrial disturbance and the current limits of extreme space weather activity. // *Solar Physics*, 224(1-2), 2004, pp. 407-422.
- [2] Gubbins D., Herrero-Bervera E. *Encyclopedia of geomagnetism and paleomagnetism*. // Springer Science & Business Media, 2007.
- [3] Hathaway. H. The solar cycle. // *Living Reviews in Solar Physics*, 12(1), 2015, 4.
- [4] Lockwood, M. Solar influence on global and regional climates. // *Surveys in Geophysics*, 34(1), 2013, pp. 209-236.
- [5] NOAA National Centers for Environmental Information. // *Sunspots*, 2021. Retrieved from <https://www.ngdc.noaa.gov/stp/spaceweather.html>
- [6] NASA Goddard Space Flight Center. // *Solar Irradiance Data Center*, 2021. Retrieved from <https://solarscience.msfc.nasa.gov/>
- [7] Rothery D. A. Sunspots: An overview. // *Astronomy & Geophysics*, 45(5), 2004, pp. 21-24.
- [8] Russell C.T., Greenstadt E.W. The Solar Wind Interaction with the Earth's Magnetosphere: A Tutorial Review. // *Reviews of Geophysics*, 10(2), 1972, pp. 347-390.

MODULATIONAL INSTABILITY AND ROGUE WAVES ACCORDING TO NONLINEAR SCHRÖDINGER EQUATION

Kobaidze D., Kharshiladze O.

*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
oleg.kharshiladze@gmail.com*

Abstract: In the following paper we present the numerical simulations of the Nonlinear Schrödinger Equation (NLSE), according to which it is possible to observe nonlinear wave dynamics. Our main research concerns two basic phenomena: Modulational Instability (MI) and Rogue Waves (RW). It's been a while since these effects have been investigated in various branches of physics, for example in astrophysics, plasma physics, also MI and RW might be observed in the atmosphere of the earth.

Key words: Modulational Instability, Rogue Waves, Nonlinear Schrödinger Equation.

1. Introduction

It is well known, that the Nonlinear Schrödinger Equation (NLSE) has an exact stationary single-soliton solution. Our work can be separated in two basic parts. At first we apply the NLSE and derive the Benjamin-Feir-Lighthill criterion [1] for modulational instability; for this purpose we use the perturbative method to proceed the stability analysis; the second part concerns Rogue Waves. One of the solutions of the NLSE is the rational solution that could describe the rogue wave propagation [2]. The importance of the rogue wave in the study of the ocean waves are due to the fact that the amplitude of the rogue wave can reach more than twice the value of the surrounding chaotic waves (Bludov et al. 2010). Actually, its appearance cannot be predicted, so this wave represents a real danger on the ships and boats and thus many studies deal with the ocean rogue wave (Janssen 2003; Khaarif et al. 2009; Osborne 2009; Osborne et al. 2009). Understanding the origin of the rogue wave appearance is currently a matter of debate (Ruban et al. 2010). Nonlinear wave studies related to the rogue wave phenomena can also be found in optics [3], superfluid-He4 [4] and optical cavities [5]. Whereas theoretical models can now fairly well describe oceanic rogue waves [6] there is, as far as we know, no corresponding theory for the atmospheric rogue waves that have been observed [7]. We shall therefore here point out a way to describe such atmospheric waves.

2. Modulational instability

We apply the NLSE in the following form:

$$A_t = i(\beta_2/2)A_{xx} + \gamma i|A|^2A, \quad (1.1)$$

where A_t and A_{xx} are first order time and second order space derivatives respectively. Now the posing of the problem is as follows: let's discuss the spatially uniform solution of the (1.1) equation and find its instability condition; on the other hand, it means the assumption:

$$A_{xx} = 0.$$

As a result, (1.1) equation becomes:

$$A_t = \gamma i|A|^2A, \quad (1.2)$$

now to apply the linear approximation, let's make the following substitution in the (2.2) equation:

$$A_t = \gamma i |a|^2 A, \quad (1.3)$$

where $a = \text{const}$ is in general the complex amplitude. We can find the solution of the (2.3) equation in the

$$A = a e^{\gamma i |a|^2 t}. \quad (1.4)$$

form. Now our goal is to investigate the stability of the solution of the (1.4) equation, for this purpose we use the perturbative method, it means, that (1.4) must be perturbed by some perturbative term with the amplitude $\varepsilon \ll 1$. So we can rewrite (1.4) in the form:

$$u = a e^{\gamma i |a|^2 t} + \varepsilon a e^{\gamma i |a|^2 t} = a e^{\gamma i |a|^2 t} (1 + \varepsilon). \quad (1.5)$$

Here $\varepsilon = \varepsilon(x, t) \ll 1$ and it is in general a complex function. After substituting (1.5) in the (1.1) and make some mathematical transformations we shall get the expression for the time derivative of $\varepsilon(x, t)$:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = i \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial x^2} + \gamma i |a|^2 (\varepsilon + \bar{\varepsilon}). \quad (1.6)$$

Now for the space array with the periodicity of $2L$ let's find the solution of (1.6) in the following form:

$$\varepsilon = c(t) e^{i \frac{x}{L} \pi} + d(t) e^{-i \frac{x}{L} \pi}, \quad (1.7)$$

where $c(t)$ and $d(t)$ are in general time depended complex amplitudes. After substituting (1.7) in the (1.6) we shall get the equation for eigenfunctions and eigenvalues:

$$\begin{pmatrix} \frac{dc}{dt} \\ \frac{d\bar{d}}{dt} \end{pmatrix} = i \begin{pmatrix} A & B \\ -B & -A \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c \\ \bar{d} \end{pmatrix}, \quad (1.8)$$

where

$$A = -\left(\frac{\pi}{L}\right)^2 + \gamma |a|^2, \quad B = \gamma |a|^2 c,$$

Here \bar{d} is the complex conjugate of d . After solving the (1.8) system we shall have

$$\lambda = \frac{\pi}{L} \sqrt{2\gamma |a|^2 - \left(\frac{\pi}{L}\right)^2}, \quad 2\gamma |a|^2 > \left(\frac{\pi}{L}\right)^2. \quad (1.9)$$

Where λ is the eigenvalue. Finally for the instability condition we get

$$L > \frac{\pi}{|a| \sqrt{2\gamma}}, \quad (1.10)$$

which is known as the Benjamine-Feir-Lighthill criterion.

2. Rogue waves

We use the NLSE in the following form:

$$i \frac{\partial A}{\partial x} - \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} + \gamma |A|^2 A = 0. \quad (2.1)$$

Analytical solution [8]:

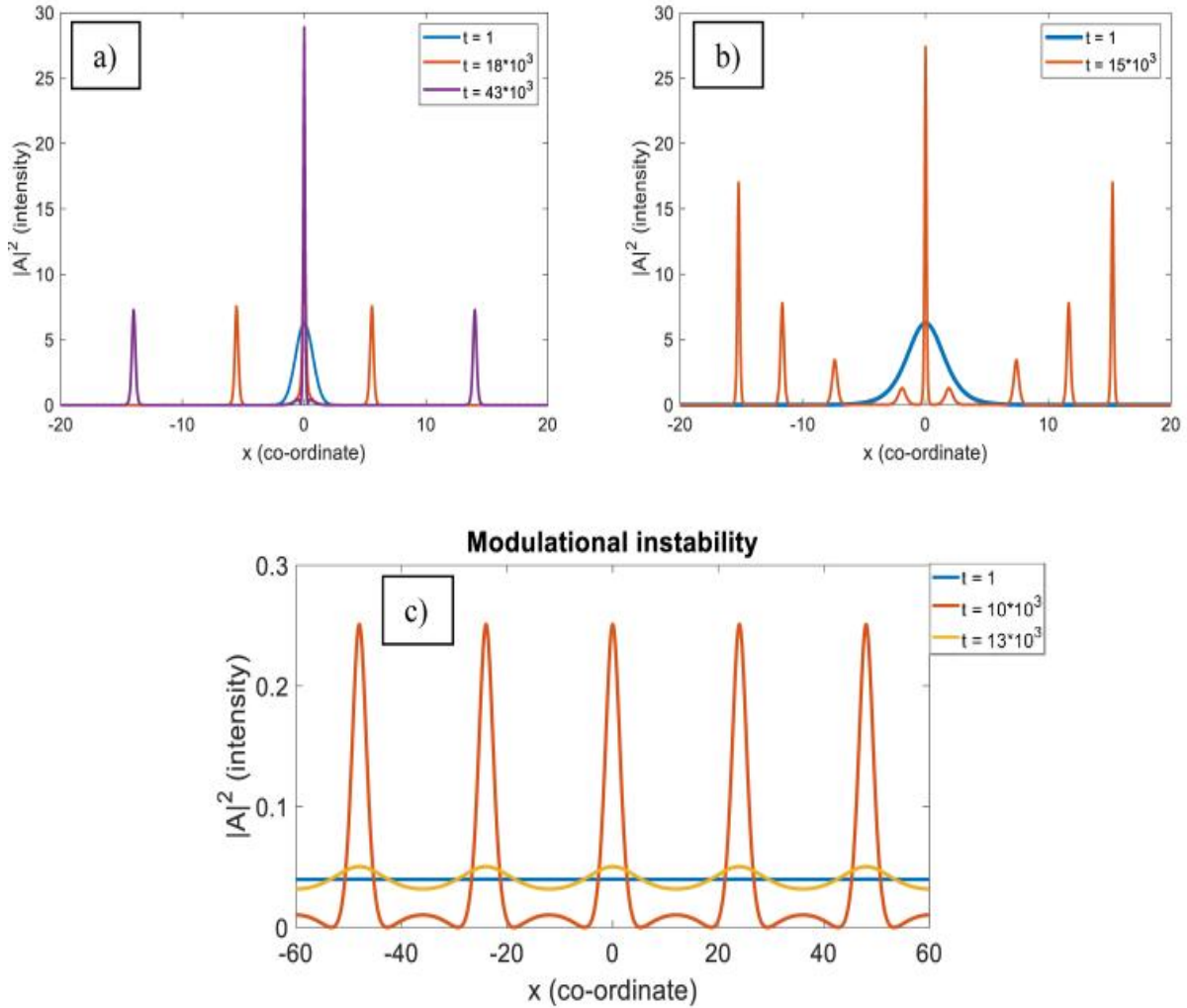
$$A_j(x, t) = \left[(-1)^j + \frac{G_j(x, t) + ixH_j(x, t)}{D_j(x, t)} \right] \exp(ix). \quad (2.2)$$

For atmospheric waves $G_1 = 4$, $H_1 = 8$, $D_1 = 1 + 4t^2 + 4x^2$. We shall have:

$$A_1(x, t) = \left[1 - 4 \frac{1 + 2ix}{1 + 4t^2 + 4x^2} \right] \exp(ix) \quad (2.3)$$

3. Numerical results

3.1 Modulational instability

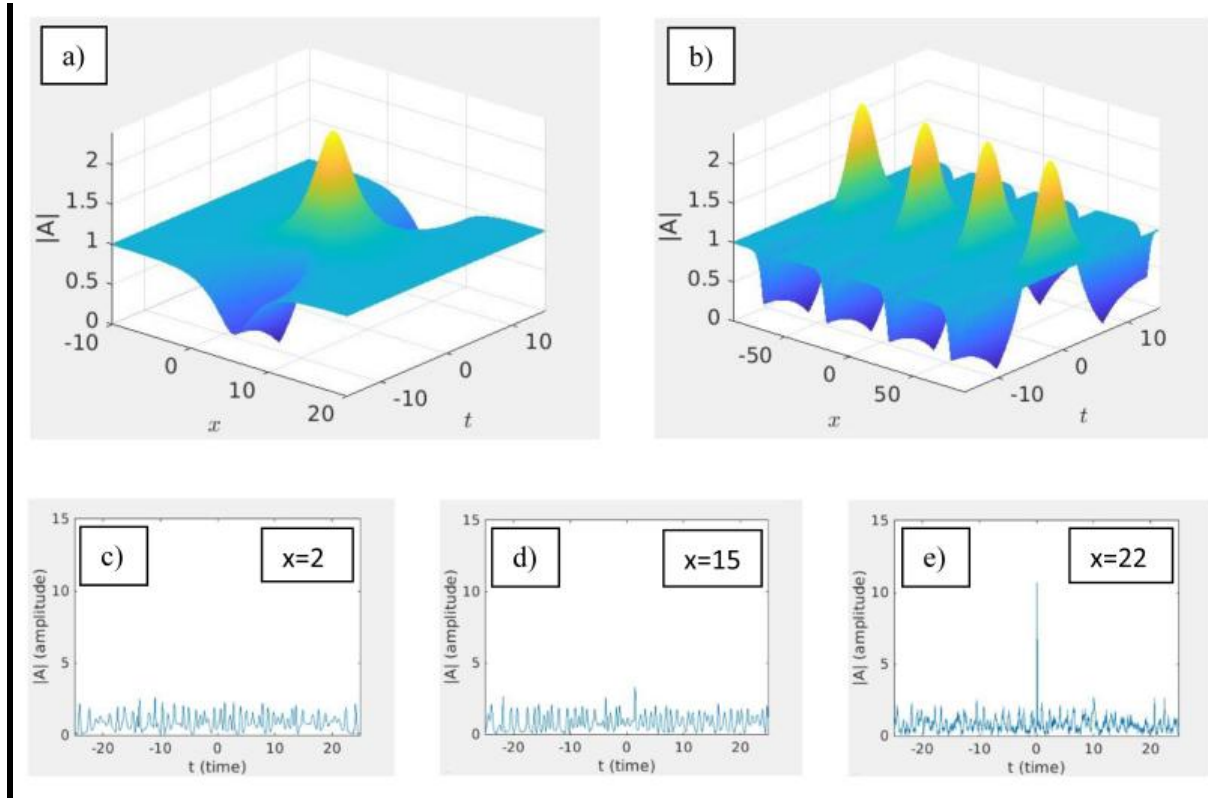


3.1: a), b): MI for two different waves; $L = 2$, $\beta_2 = -2$, $\gamma = 2$.

a) $A(x, 0) = 2.5 * \exp(-x^2/L)$, b) $A(x, 0) = 2.5 * \text{sech}(x/L)$.

c) $A(x, 0) = a(1 + \epsilon \cos(\pi x/L))$; $\beta_2 = 2$; $\gamma = 2$; $L = 12$.

3.2 Rogue waves



3.2: a), b): RW; $\beta_2 = 25, \gamma = 0.5$.
 c), d), e): RW; $\beta_2 = 0.21, \gamma = 3.01$.

References

- [1] Weideman J.A.C. Computational Methods for Waves in Fluids.
- [2] El-Labany S.K., Moslem W.M., El-Bedwehy N.A., Sabry R., Abd El-Razek H.N., Rogue wave in Titan's atmosphere. // Astrophys Space Sci, 338, 2012, pp. 3–8.
- [3] Solli D. R., Ropers C., Koonath P., Jalali B. // Nature 450, 2007, 1054.
- [4] Ganshin A. N., Efimov V. B., Kolmakov G. V., Mezhov-Deglin L. P., McClintock P. V. E. // Phys. Rev. Lett. 101, 2008, 065303.
- [5] Montina A., Bortolozzo U., Residori S., Arecchi F. T. // Phys. Rev. Lett. 103, 2009, 173901.
- [6] Marklund M., Stenflo L. // Physics 2, 2009, 86.
- [7] Sim B. L., Agterberg F. P. // J. Geodynamics 41, 2006, 451; see their reference Gary, B. L., Rogue waves in the atmosphere (1999).
- [8] Akhmediev N., Ankiewicz A., Soto-Crespo J. M. Rogue waves and rational solutions of the nonlinear Schrödinger equation. // Physical Review, E 80, 2009, 026601.

ANALYSIS OF THE RELATION BETWEEN THE VARIATION OF ASY-H GEOMAGNETIC INDICES AND THE CHARACTER OF INTERNET INTERDOMAIN ROUTING DURING THE 2003 HALLOWEEN GEOMAGNETIC STORM

Matcharashvili T., Sborshchikovi A., Chikviladze E., Laliashvili L., Tepnadze D.

*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
matcharashvili@gtu.ge*

Abstract: In this work, we investigated the character of the relation between variation of ASY-H geomagnetic indices and updates of border gateway protocol data sets during the strongest geomagnetic storm in October 2003. Time series of low to mid-latitude asymmetric geomagnetic indices have been compared with the Internet border gateway protocol data sets obtained from the three world's largest Internet providers. As a regularity metric characteristic of considered processes, we used the local variation calculation method. The probability density function and Similarity/dissimilarity of compared processes have been assessed using Kullback–Leibler divergence measure. It was shown, that strong geomagnetic storms practically do not affect the dynamical regularity of processes of BGP update variation. At the same time, the extent of similarity between the character of variation of ASY-H and corresponding BGP updates time series strongly increased in the period of the strong Halloween geomagnetic storm that occurred in 2003.

Key words: ASY-H geomagnetic data, BGP data, Kullback–Leibler divergence

Introduction. It is well known that there are numerous indices of Geomagnetic activity. These indices quantify the disturbance of the Earth's magnetosphere due to interplanetary transients. SYM-H and ASY-H are among such known geomagnetic indices [1]. Namely, SYM-H, together with Dst, is a proxy of the symmetric ring current, while ASY-H is the longitudinally asymmetric part of the geomagnetic disturbance field at low latitude to mid-latitude. In more detail, SYM-H is derived by first subtracting main geomagnetic field due to internal geodynamo and external Sq induced geomagnetic field variations and then averaging residual fields. Next by removing the globally symmetric component of the magnetic field variations from geomagnetic field variations at each station, longitudinally asymmetric geomagnetic field variations are derived. The range between max and min of these subtracted fields are compiled as mentioned ASY-H index. ASY-H have a significant contribution from various transient currents flowing in the magnetosphere–ionosphere system such as currents associated with impulses, solar flares, substorms, and prompt penetration electric fields, partial ring current, field-aligned currents, magnetotail current, etc. [2,3]. The disturbance of these SYM-H and ASY-H indices often is used to describe the geomagnetic storm strength.

In the present research, we restrict ourselves to the analysis of variation of asymmetric indices during a series of so-called Halloween geomagnetic storms in October and November of 2003. Namely, we speak about the strongest storm that occurred on October 29 and 30. Presently it is well accepted that strong geomagnetic disturbances, like Halloween geomagnetic storms, can cause extensive social and economic disruptions. There are several known facts about the damaging effects of strong geomagnetic storms such as the Carrington event that happened in September 1859, the space weather event in March 1989, the November 2001 event, etc. [4,5]. According to modern views, the potential for such destructive influences in modern high-tech society is becoming increasingly dangerous [6,7,8]. Indeed, it is difficult to overestimate damages for satellite communication and navigation systems, electric power grids, pipeline systems, long-distance communication cables, etc. [9].

Because a variety of modern services are critically dependent on a properly functioning Internet, the importance of efforts to assess the nature of the possible impact of geomagnetic storms on Internet processes becomes obvious.

To our knowledge, this question is not yet investigated, and thus we in the present work aim to make the first step to shed light on this interesting and important question. In this respect as an appropriate to targeted research aim Internet data set we selected a time series of updates of Border Gateway Protocol (BGP). BGP data sets are often used when assessing quantitative and qualitative aspects of processes in the core of the internet [10].

As mentioned in this research we aimed to investigate the character of the relationship between variation of geomagnetic ASY-H indices and features of the BGP updates process during the strongest geomagnetic storm. The importance of such research is caused by the fundamental scientific and practical necessity to know the character of the relationship between strong disturbances in the geomagnetic field variation and the BGP update process.

Methods and used data sets. As it was mentioned in the previous section, ASY-H indices represent one of the characteristics indicating disturbances of the Earth's magnetic field. ASY-H is essentially changing during geomagnetic storms and like SYM-H is provided at a 1 min temporal resolution. In the present study, we used ASY-H data obtained from ground magnetometers and provided through the WDC Kyoto (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>). As said above we investigated geomagnetic activity during the period involving the so-called Halloween geomagnetic storm, October 29 and 30 in 2003. Namely, we used a time series of ASY-H indices from 15.09.2003 to 30.11.2003.

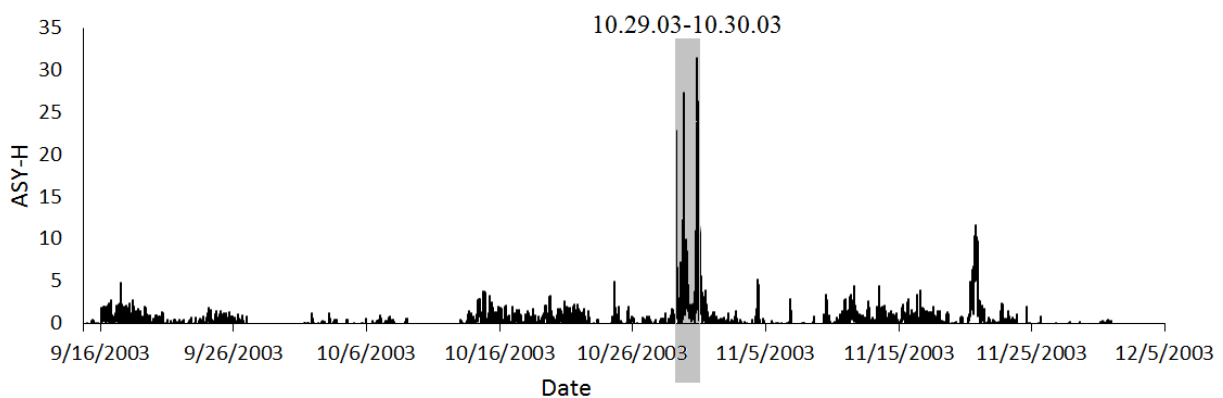


Fig. 1. Time series of normed to standard deviation ASY-H geomagnetic indices prior and after period of Halloween geomagnetic storm (shown in grey).

As we said above in the present work we aimed to investigate the possible influence of strong geomagnetic storms on the processes in the core of the Internet. Thus we consider the strongest of last decades geomagnetic storm i.e. Halloween geomagnetic storm occurred on October 29 and 30, 2003.

As for data sets characterizing processes in the core of the Internet we decided to use a time series of updates of the Internet border gateway protocol (BGP). These time series have been obtained from the depositories collected in the frame of the Route Views project (<http://www.routeviews.org/>) from the BGP routers of four Autonomous Systems (ASes). These ASes are Internet Service and/or Transit Providers AT&T, NTT, IJ, and Tinet. Exactly, AT&T (American Telephone & Telegraph) is an American multinational telecommunications corporation, NTT (Nippon Telegraph and Telephone) is a Japanese telecommunications company, IJ (Internet Initiative Japan) is Japan's Internet provider, Tinet (The Tiscali International Network) is an Italian Internet service provider. Used BGP update datasets are publicly available at http://figshare.com/articles/Correlation_in_global_routing_dynamics/1549778.

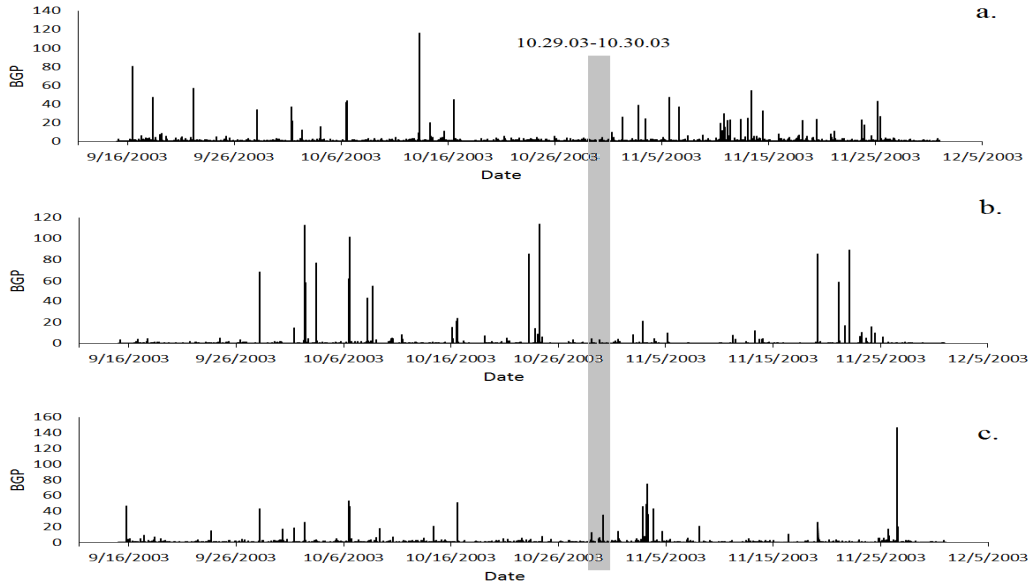


Fig. 2. Normed to standar deviation time series of the number of BGP updates per minute, prior and after the period of Halloween geomagnetic storm (shown in grey), a) NTT, b) IJ, c) and d) Tinet, ASes.

We used the local variation (L_V) calculation method, as a regularity metric useful to characterize the extent of randomness in the spiking. The method is especially promising for the spiky time series, like those used in this research ASY-H and BGP updates data sets. L_V is defined as:

$$L_V = \frac{3}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{I_i - I_{i+1}}{I_i + I_{i+1}} \right)^2$$

where I_i and I_{i+1} are i -th and $i+1$ -th BGP updates accordingly and n is the number of BGPs. According to the method's background, $L_V = 0$ when considered time series is perfectly regular, and $L_V = 1$ for random sequences consisting of completely independent events. Further details regarding the L_V method can be found in Shinomoto et al.

Next, to compare processes of geomagnetic field variation and dynamics of BGP updates we used Kullback-Leibler divergence (KLD) calculation method. KLD is useful to measure the statistical "distance" between the distributions p and q (H-ASY and BGP updates data accordingly), for a given random variables. KLD is also known as relative entropy, and is defined as:

$$D_{KL} = \sum_{x \in X} p(x) \log_2 \frac{p(x)}{q(x)}$$

KLD is a measure based on the relative entropy of two probability density functions built for considered processes here H-ASY and BGP update variation. The Kullback-Leiber Divergence is the symmetric divergence between two classes of compared groups or data sets and represents a measure of the degree of difficulty in discriminating between classes (the larger the divergence, the greater the separability between the classes). In other words, KLD can be used as been used to assess measure of the similarity of dynamics of compared processes. Often KLD value lower than 1 is regarded as an indication that distribution functions of two time series are indistinguishable and thus the character of compared dynamical processes is similar.

Results and discussion. As we see in Fig.1, in the previous section, ASY-H values in the period of Halloween geomagnetic storm strongly increase indicating essential quantitative changes in the longitudinally asymmetric part of the geomagnetic field disturbances. Contrary to this in Fig.2, we practically do not see noticeable quantitative changes for the same period of observation in BGP updates time series obtained from all three providers AT&T, NTT, and IJ.

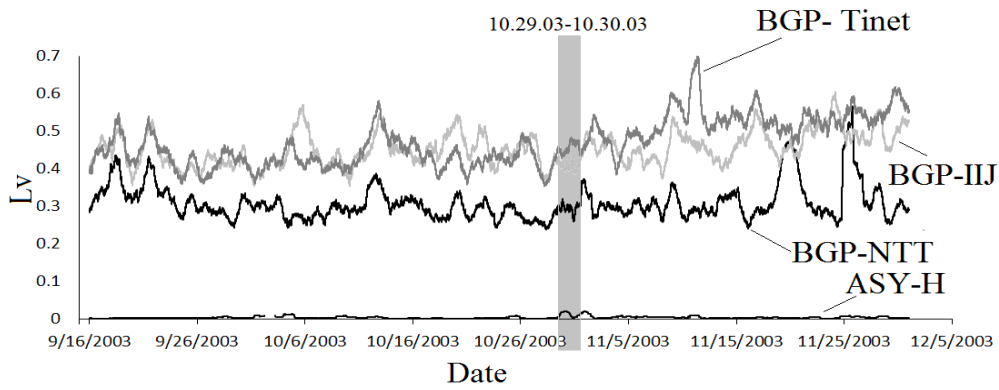


Fig. 3. Averaged values of Local variation measures calculated for consecutive 1440 data long -windows of IIJ, NTT, Tinet time series shifted by 1 data.

Moreover, as shown in Fig. 3, according to the results of L_v calculation there are no essential changes in the dynamical regularity of processes of BGP updates variation in the period of 29-30 October 2003 strongest Halloween geomagnetic storm. Indeed, as we see in a grey zone in Fig. 3, L_v calculation results for BGP data from AT&T, NTT, and IIJ never increase to 1 or fall to 0, remaining in the range of 0.3-0.43. It needs to be especially underscored that ASY-H variation during the period of observation is practically random ($L_v \approx 0$) and also does not indicate changes, excluding the practically negligible rise that happened on 29-30 October.

Thus it can be said that a strong Halloween geomagnetic storm has not caused special disturbance in the dynamics of Internet processes that could be observed in the form of noticeably quantitative or qualitative changes in BGP updates behavior. On the other hand, at a strong Halloween geomagnetic storm, in ASY-H data sets we see only an expected quantitative increase, which is not accompanied by changes in the dynamics of the considered process.

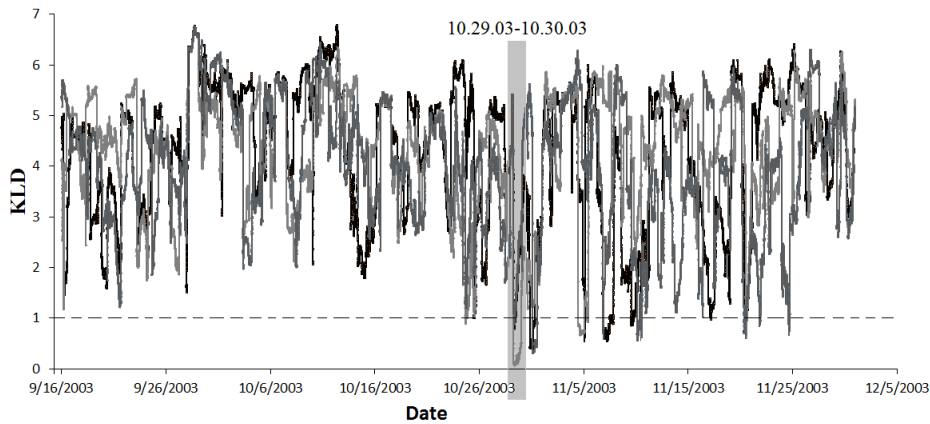


Fig. 4. KLD values calculated for consecutive 1440 data long -windows of IIJ, NTT, Tinet time series shifted by 1 data.

After all, said here, it is very interesting to discuss results obtained from the KLD calculation, comparing the extent of similarity between the character of variation of ASY-H and corresponding BGP updates time series. As it follows from Fig. 4, calculated in consecutive sliding windows KLD values for ASY-H and BGP updates never fall below 1 prior to the period of Halloween geomagnetic storm start. As shown by the gray color on 29-30 October 2003, the KLD value for compared data sets became minimal being closer to 0. It is interesting that after the strong event on 29-30 October 2003, a series of storms continued during the next weeks too. So, decreased KLD values after 29-30 October 2003 can be regarded as effects of further influences of still strong but lower than during 29-30 October 2003 influences of the geomagnetic field.

Conclusion The relation between variation of ASY-H geomagnetic indices and updates of time series of border gateway protocol was investigated during the Halloween geomagnetic storm in October of 2003. Time series of ASY-H geomagnetic indices were compared with the Internet border gateway protocol data sets from

three worlds largest Internet providers. The local variation calculation method as a regularity metric and Kullback–Leibler divergence as a similarity measure have been used. According to our analysis, it was concluded that strong geomagnetic storms do not affect the dynamical regularity of processes of BGP update variation. On the other hand in the period of a strong Halloween geomagnetic storm, the extent of similarity between the character of variation of ASY-H and corresponding BGP updates time series strongly increases.

References

- [1] Menvielle M., Iyemori T., Marchaudon A., Nosé M. Geomagnetic indices. // In Geomagnetic observations and models Dordrecht. The Netherlands: Springer, 2011, pp. 183–228. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9858-0_8
- [2] Iyemori T., Rao D. Decay of the Dst field of geomagnetic disturbance after substorm onset and its implication to storm substorm relation. // *Ann Geophys* 14, 1996, pp. 608–618.
- [3] Singh A.K., Sinha A., Pathan B., Rajaram R., Rawat R. Effect of prompt penetration on the low latitude ASY indices. // *J Atmos Sol-Terr Phys.*, 94, 2013, pp. 34–40.
- [4] Medford L.V., Lanzerotti L.J., Kraus J.S., MacLennan C.G. Transatlantic Earth potential variations during the March 1989 magnetic storms. // *Geophys. Res. Lett.*, 16(10), 1989, p.1145. doi:10.1029/GL016i010p01145.
- [5] Bolduc L. GIC observations and studies in the Hydro-Québec power system. // *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 64, 2002, pp. 1793–1802. doi:10.1016/S1364-6826(02)00128-1.
- [6] Baker D.N. How to cope with space weather // *Science*, 297, 2002, pp. 1486–1487. doi:10.1126/science.1074956.
- [7] Pulkkinen T. Space weather: Terrestrial perspective, *Living Rev.* // *Sol. Phys.*, 4, 2007, 1. doi:10.12942/lrsp-2007-1.
- [8] Hapgood M.A. Towards a scientific understanding of the risk from extreme space weather. // *Adv. Space Res.*, 47, 2011, pp. 2059–2072. doi:10.1016/j.asr.2010.02.007.
- [9] Lanzerotti L.J. Space weather effects on technologies, in *Space Weather*. // Edited by P. Song, H. J. Singer, and G. L. Siscoe, AGU, Washington, D. C., 2001, pp. 11–22.
- [10] Matcharashvili T., Elmokashfi A., Prangishvili A. Analysis of the regularity of the Internet Interdomain Routing dynamics. // *Physica A*, 2020, 124142. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2020.124142>.

**საპლანეტათაშორისო მაგნიტური ველის სექტორული სტრუქტურა და მისი გავლენა
კოსმოსური სხივების ფორბუმ ეფექტებზე**

ბაქრაძე თ., ლლონტი ნ., ერქომაიშვილი ტ., დემურიშვილი ზ., ალანია ე., თაყაძე გ., ბარბაქაძე პ.

*მიხეილ ნოდისას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
Ghlonti60@yahoo.com*

ანოტაცია. კოსმოსური სხივების მოდულაციის პროცესი წარმოადგენს რთულ მოვლენას, რომელიც მოიცავს სხვადასხვა ფიზიკურ მოვლენებს მზე-დედამიწის კავშირების არეში. სტატიაში წარმოდგენილია ჩვენს კოსმოფიზიკურ ობსერვატორიაში დარეგისტრირებული 2014-2017 წლების მონაცემების დამუშავებასა და ანალიზის საფუძველზე გამოვლენილი ფორბუმ დაცემის ეფექტის 4 შემთხვევა. თითოეული შემთხვევისთვის გამოვიყენეთ იგივე პერიოდის მზის ვილკოქსის ობსერვატორიის მონაცემები, როცა დედამიწა კვეთს საპლანეტათაშორისო მაგნიტური ველის ნეიტრალურ ფენას. აღმოჩნდა რომ ოთხივე შემთხვევაში ფორბუმ ეფექტები იწყება დაახლოებით ერთი დღის დაგვიანებით, მას შემდეგ რაც დედამიწამ გადაკვეთა საპლანეტათაშორისო მაგნიტური ველის ნეიტრალური ფენა. ჩვენი აზრით ფორბუმ ეფექტები გარკვეულ წილად გამოწვეულია არა მარტო მზეზე მომხდარ ააღებებთან, არამედ საპლანეტათაშორისო მაგნიტური ველის ნეიტრალურ ფენაში მიმდინარე ფიზიკურ პროცესებზე. კერძოდ საპლანეტათაშორისო მაგნიტური ველის სექტორების შიგნით არსებულ მზის ქარის ნაკადებთან.

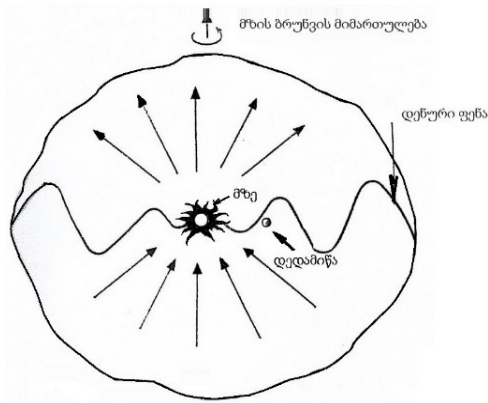
საკვანძო სიტყვები: კოსმოსური სხივები, ფორბუმ ეფექტები, მაგნიტოსფერო

კოსმოსური სხივები წარმოადგენს დედამიწაზე კოსმოსიდან მოსული მაღალენერგეტიკული დამუხტული ნაწილაკების: პროტონების, სხვადასხვა ნივთიერებების მაღალენერგეტიკული ბირთვებისა და ელექტრონების ერთობლიობას. აღწევენ რა გალაქტიკის სიღრმიდან და მზიდან, დედამიწაზე კოსმოსური სხივებს მოაქვს ინფორმაცია იმ სივრცისა, სადაც ხდება მათი წარმოქმნა, აჩქარება და გავრცელება. ისინი კარგად იმახსოვრებენ იმ გარემოს ელექტრო-მაგნიტურ თვისებებს, რომელშიც გადიან დეტექტორში მოხვედრამდე [1].

კოსმოსური სხივების ინტენსივობის ვარიაციების შესწავლა საშუალებას გვაძლევს ინფორმაციის ეს არხი გამოვიყენოთ იმ პროცესების შესასწავლად, რომლებიც მიმდინარეობს გალაქტიკაში, საპლანეტათაშორისო სივრცეში, მზეზე, დედამიწის ახლო გარემოში და დედამიწის ატმოსფეროში [2].

გეოფიზიკის ინსტიტუტის კოსმოსური სხივების ლაბორატორია, რომლის ძირითად ტექნიკურ ობიექტს წარმოადგენს უწყვეტ დღე-ღამურ რეჟიმში მომუშავე ნეიტრონული სუპერ-მონიტორი, იძლევა ფასდაუდებელ ინფორმაციას შემდგომი სამეცნიერო კვლევებისათვის.

მზის საერთო მაგნიტური ველი დაახლოებით წარმოადგენს დიპოლურ მაგნიტურ ველს, რომელიც არის ჰელიოსფეროს ჩრდილო და სამხრეთ ნახევარსფეროში ველის სხვადასხვა პოლარობის მიზეზი. მათ გამყოფ ფენას, რომელიც ცნობილია საპლანეტათაშორისო მაგნიტური ველის ნეიტრალური ფენის სახელწოდებით, აქვს ტალღისებური ფორმა. საპლანეტათაშორისო სივრცეში იქმნება მაგნიტური ველის დინამიური სურათი, ნეიტრალური ფენა, რომელიც ვრცელდება ტალღისებურად, რადიალურად და ამასთანავე ბრუნავს მზესთან ერთად. ასეთ დინამიკაში დედამიწა აღმოჩნდება აღნიშნული ფენის ხან ერთ, ხან მეორე მხარეს. ე.ი. მაგნიტური ველის სხვადასხვა პოლარობის არეში (ნახ. 1). როგორც თეორიული კვლევები აჩვენებენ, ყველა პროცესი დამოკიდებულია ველის დამაბულობის სიდიდესა და მიმართულებაზე. ამიტომ დედამიწაზე დაკვირვებული ექსპერიმენტალური მონაცემების საფუძველზე მიღებული ინფორმაცია მის მახლობელ სივრცეში არსებული კოსმოსური სხივების ნაკადის შესახებ უნდა იყოს მგრძობიარე, იმისა, თუ რომელ სექტორში იმყოფება დედამიწა: დადებითში (როდესაც რეგულარული მაგნიტური ველის ძალწირები გამოდიან მზიდან), თუ უარყოფითში (როდესაც საპირისპიროდაა მიმართული).



ნახ. 1.

ნახ. 1 დადგენილია, რომ დედამიწა და მისი მაგნიტური ველი დატვირთულია ე.წ. „მზის ქარით“ - უწყვეტად მომდინარე მზიური წარმოშობის პლაზმური ნაკადით. მზის ქარი წარმოადგენს მზის გვირგვინის უწყვეტ გაფართოებას ზეგერით აჩქარებამდე, რომელსაც თან მოაქვს მზის მაგნიტური ველი. დედამიწის მაგნიტური ველი ურთიერთმოქმედებს მზის ქარის პლაზმასთან და დედამიწასა და მზეს შორის წარმოიქმნება „დარტყმითი ფრონტი“. მზის ქარის ნაკადის ძირითადი ნაწილი შემოუვლის დედამიწას, წარიტაცებს მაგნიტურ ველს და ქმნის გრძელ მაგნიტურ კუდს. შესაბამისად, დედამიწა შემოსაზღვრულია მაგნიტური გარემოთი, რომლის შემადგენლობა და აგებულება ძირითადად განისაზღვრება დედამიწის მაგნიტური ველით და დენებით, რომლებიც გენერირდება მზის ქარით [3].

კოსმოსური აპარატებისა და ორბიტალური თანამგზავრების მეშვეობით შემჩნეული იქნა, რომ ეკლიპტიკის სიბრტყის მახლობლობაში მზის ქარის მაგნიტური ველი, დროის გარკვეულ პერიოდებში მიმართულია მზისკენ, ან საწინააღმდეგოდ - მზიდან. ასეთი მოვლენა ცნობილია მზის ქარის სექტორული სტრუქტურის სახელწოდებით. ამ სექტორების რიცხვი იცვლება პერიოდულად, 2-ჯერ, 4-ჯერ, და ზოგჯერ 6-ჯერ.

საპლანეტათაშორისო მაგნიტური ველის სექტორული სტრუქტურა გამოწვეულია საპლანეტათაშორისო სივრცეში დენური ფენის არსებობით, რომელიც ბრუნავს მზესთან ერთად. დენური ფენა იწვევს მაგნიტური ველის სწრაფ ცვლილებას: ფენის ზევით საპლანეტათაშორისო მაგნიტურ ველის რადიალურ კომპონენტებს აქვს ერთი ნიშანი, ქვევით კი მეორე. ეს დენური ფენა, რომელიც იწინასწარმეტყველა ხ. ალვენმა, გაივლის მზის გვირგვინს იმ ადგილებში, რომლებიც დაკავშირებული არიან მზეზე აქტიურ უბნებთან და გამოყოფს მითითებულ უბნებში მზის მაგნიტური ველის სხვადასხვა ნიშნის რადიალურ კომპონენტებს. დენური ფენა განლაგებულია ძირითადად მზის ეკვატორის მახლობლობაში და აქვს გოფირებული სტრუქტურა. მზის ბრუნვა იწვევს დენური ფენის გოფირებას სპირალური ფორმით. თუ დამკვირვებელი იმყოფება ეკლიპტიკის სიახლოეს, მაშინ ის აღმოჩნდება დენური ფენის ხან ზევით და ხან ქვევით, რაც თავისთავად ნიშნავს, რომ აღმოჩნდება საპლანეტათაშორისო მაგნიტური ველის სხვადასხვა პოლარობაში [4].

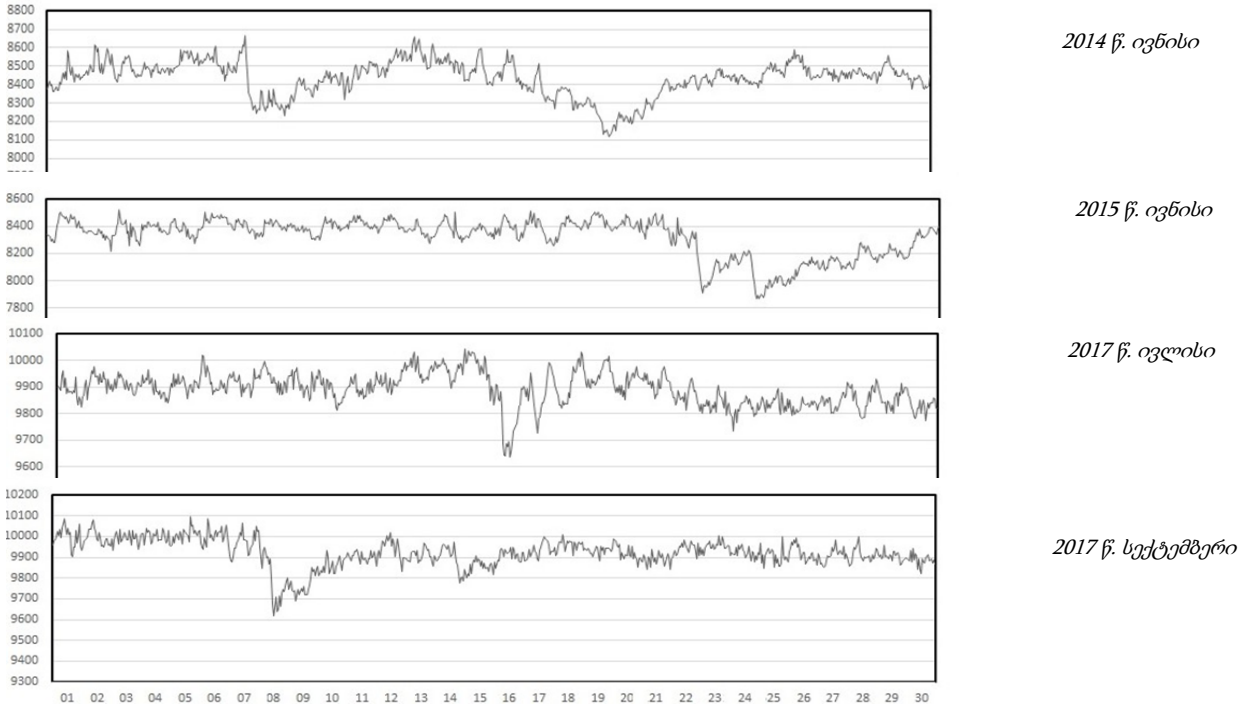
ფორბუმ დაცემის ეფექტი მიეკუთვნება იმ გეოფიზიკურ მოვლენას, რომელიც ხდება ყოველთვის, როცა ადგილი აქვს მზეზე დიდ აალებებს. დასაწყისი დაიკვირება დედამიწის მაგნიტური ველის ნორმალური მდგომარეობიდან დაახლოებით 0,1%-ით მოკლეპერიოდისანი მომატებისას (მყისიერი დასაწყისი), შემდეგ მოდის მაგნიტური ველის დამაბულობის შემცირება, რაც გრძელდება რამოდენიმე საათის განმავლობაში (მთავარი ფაზა). ბოლოს, თანდათანობით აღდგება და დაუბრუნდება თავის ნორმალურ მდგომარეობას, რასაც ასევე გარკვეული დრო სჭირდება.

დიდი მნიშვნელობა აქვს შესწავლილი იქნას ს.მ.ვ.-ის სექტორების საზღვრების გადაკვეთის გავლენა სხვადასხვა გელიოფიზიკურ მოვლენებზე. კერძოდ, ისეთებზე, როგორცაა გეომაგნიტური ქარიშხლები, კოსმოსური სხივების ვარიაციები, ძლიერი დამანგრეველი მიწისძვრები და სხვა.

სტატიაში წარმოდგენილია და განხილულია ის პროცესები, რომლის დროსაც დედამიწას უწევს საპლანეტათაშორისო მაგნიტური ველის ნეიტრონული ფენის გადაკვეთა და ამ მოვლენის კავშირი

ობსერვატორიაში დაკვირვებულ კოსმოსური სხივების ნეიტრონული კომპონენტის ვარიაციებთან (ფორბუმ ეფექტებთან).

ფიზიკური პროცესების გასაანალიზებლად, რომელსაც ადგილი აქვს საპლანეტათაშორისო სივრცეში, მაგნიტოსფეროსა და დედამიწის ატმოსფეროში, აქტიურად მიმდინარეობს ფორბუმ ეფექტების შესწავლა კოსმოსური სხივების ნეიტრონული კომპონენტის მონაცემების მაგალითზე.



კოსმოსური სხივების ვარიაციებზე დაკვირვება ხდება დედამიწის ზედაპირზე სხვადასხვა ადგილას განლაგებული ობსერვატორიების საშუალებით. მათ შორისაა ჩვენი ობსერვატორიაც, რომელიც უწყვეტ რეჟიმში არეგისტრირებს კოსმოსური სხივების ნეიტრონულ კომპონენტს. ჩვენ ამჯერად შევხებით 2014-2017 წლებში მიღებული მონაცემების ანალიზს. აღნიშნული დროის განმავლობაში გამოვლენილი იქნა 4 ისეთი პერიოდი, სადაც მკვეთრადაა გამოხატული ფორბუმ დაცემის ეფექტების ხასიათი. ეს პერიოდებია 2014 წელი (17-26) ივნისი, 2015 წელი (21-29) ივნისი, 2017 წელი (16-22) ივლისი, 2017 წელი (7-12) სექტემბერი.

ნახ.2-ზე მოცემულია აღნიშნული პერიოდების ნეიტრონული მონაცემების გრაფიკული გამოსახულებები. ჩვენ აღნიშნულ სტატიაში შევეცადეთ დაგვეკავშირებინა აღნიშნული ფორბუმ ეფექტები საპლანეტათაშორისო სივრცის რეგულარული მაგნიტური ველის სექტორულ სტრუქტურებთან შესაბამისი პერიოდის მონაცემების საშუალებით, სადაც მოცემულია დედამიწის მიერ საპლანეტათაშორისო სივრცის ნეიტრალური ფენის დედამიწის მიერ გადაკვეთის დროითი კოორდინატები.

ვოლკოქსის მზის ობსერვატორიის მონაცემები ჩვენს მიერ დარეგისტრირებული ფორბუმ ეფექტების დროს არის შემდეგი 2014 წ. ივნისის კვეთის დღეებია 12, 16, 26, 28, შესაბამისად 2015 წ. ივნისისთვის 19, 20, 29, 31, 2017 წ. ივლისისთვის 3, 9, 16, 25 და 2017 წ. სექტემბერისთვის 6, 13, 17, 26 რიცხვები. ერთმანეთთან შედარებისას აღმოჩნდა, რომ ფორბუმ ეფექტები დედამიწაზე იწყება ერთი დღის დაგვიანებით, მას შემდეგ რაც მოხდა დედამიწის მიერ ნეიტრალური ფენის კვეთა, რაც ჩვენი შეფასებით არის შემდეგი საპლანეტათაშორისო მაგნიტური ველის სექტორების შიგნით არსებულ მზის ქარის სწრაფ ნაკადებთან.

ლიტერატურა

- [1] Дорман Л.И. Вариации космических лучей и исследование космоса.// Изд-во „Наука”, М. 1963.
- [2] Росси Б. Космические лучи. // Атомизда, 1966.
- [3] Солнечно-земная физика. // Изд-во „Мир”, М., 1968.
- [4] Эгеланда А., Холтера О., Омхольма А. Космическая геофизика. //Изд-во „Мир”, М., 1976.
- [5] Сюняев Р. А. Физика космоса. // Советская энциклопедия, М., 1986.

THE SECTORAL STRUCTURE OF THE INTARPLANETARY MAGNETIC FIELD AND ITS INFLUENCE ON THE FORBUSH EFFECTS OF COSMIC RAYS

Bakradze T., Glonti N., Erkomaishvili T., Demurishvili Z., Alania E., Takadze G., Barbakadze P.

*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
Ghlonti60@yahoo.com*

Abstract. The process of modulation of cosmic rays is a complex phenomenon that includes various physical phenomena in the area of Sun-Earth connections. The article presents 4 cases of the Forbush fall effect identified based on the processing and analysis of data registered in our cosmophysical observatory in 2014-2017. For each case, we used Wilcox Solar Observatory data from the same period when the Earth crosses the neutral layer of the interplanetary magnetic field. In all four cases, Forbush effects were found to start about a day late, after the Earth crossed the neutral layer of the interplanetary magnetic field. In our opinion, the Forbush effects are to a certain extent caused not only by flares on the Sun, but also by physical processes occurring in the neutral layer of the interplanetary magnetic field. In particular, with the solar wind currents within the sectors of the interplanetary magnetic field.

Keywords: cosmic rays, Forbush effects, magnetosphere

**თსუ, მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის კოსმოფიზიკის ლაბორატორიის
ფუნქციონირების ბოლო პერიოდის მოკლე მიმოხილვა**

თაყაძე გ., ლლონტი ნ., ერქომაიშვილი ტ., ბაქრაძე თ.

*მიხეილ ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
Gtakadze95@gmail.com*

ანოტაცია. წარმოდგენილია თსუ, მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის კოსმოფიზიკური ლაბორატორიის ფუნქციონირების ბოლო პერიოდის მოკლე მიმოხილვა. ამასთანავე, კოსმოსური სხივების ვარიაციებსა და სხვადასხვა კლიმატურ პარამეტრებს შორის კავშირის კვლევები. ამ კვლევების ეფექტურობის გასაზრდელად ლაბორატორიაში მიმდინარეობს კოსმოსური სხივების მარეგისტრირებელი აპარატურის განახლება.

საკვანძო სიტყვები: გალაქტიკური კოსმოსური სხივები, ნეიტრონული კომპონენტი, კლიმატი, კლიმატის ელემენტები.

შესავალი

კოსმოსური სხივები მაღალი ენერგიის ნაწილაკებია, რომლებიც შემოდის ატმოსფეროში და აღწევენ დედამიწამდე. კოსმოსური სხივები ურთიერთქმედებენ დედამიწის ატმოსფეროსთან, წარმოქმნიან იონებს და სხვა მეორად ნაწილაკებს. ამ მეორად ნაწილაკებს შეუძლიათ მნიშვნელოვანი როლი შეასრულონ ღრუბლის ფორმირებაში, რაც თავის მხრივ გავლენას მოახდენს დედამიწის კლიმატზე. ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი გზა, რომლითაც კოსმოსური სხივები გავლენას ახდენს კლიმატზე, არის მათი გავლენა ღრუბლის ფორმირებაზე. კოსმოსური სხივები იონიზირებს ატმოსფეროს, წარმოქმნის იონებს, რომლებიც შეიძლება იყოს ღრუბლის კონდენსაციის ბირთვები (CCN). CCN არის ნაწილაკები, რომელთა ირგვლივ წყლის ორთქლი შეიძლება კონდენსირებული იყოს ღრუბლების წარმოქმნით. როდესაც ატმოსფეროში მეტი CCN არის, უფრო მეტი ღრუბელი წარმოიქმნება. ამან შეიძლება გამოიწვიოს გაგრილების ეფექტი, რადგან ღრუბლები ირეკლავენ მზის შუქს კოსმოსში. პირიქით, როდესაც ატმოსფეროში ნაკლები CCN არის, ნაკლები ღრუბლები წარმოიქმნება, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს დათბობის ეფექტი.

მზის აქტივობასა და კოსმოსური სხივების გავლენის შესწავლას დიდი ყურადღება ექცეოდა და ექცევა როგორც მთლიანად მსოფლიოში [1-3], ასევე საქართველოშიც [4-9]. კერძოდ ნაშრომებში [10-13] განხილულია საკითხი კოსმოსური სხივების ზეგავლენისა ჰაერის ტემპერატურაზე, ღრუბლიანობაზე და ნალექების ინტენსივობაზე საქართველოს პირობებში. ამ სამუშაოებისთვის გამოყენებული იყო ქ. თბილისის კოსმოსური სხივების ლაბორატორიის მონაცემები, რომელიც არსებობს 1963 წლიდან [14, 15]. აღსანიშნავია, რომ თბილისისთვის კოსმოსური სხივების ინტენსივობის რეალური მონაცემები 500 კმ-მდე ხასიათდება ძალიან მაღალი რეპრეზენტატულობით, ხოლო 3200 კმ მანძილზე - მაღალი რეპრეზენტატულობით [16].

კოსმოსური ლაბორატორიის არსებობის პერიოდში რეგულარულად ტარდებოდა დაკვირვების სისტემის განახლება. ქვემოთ წარმოდგენილია აღნიშნული ლაბორატორიის მუშაობის ბოლო განახლების შედეგები.

შედეგები

თბილისის კოსმოსური სხივების ლაბორატორიაში არსებული აპარატურული უზრუნველყოფის განახლების შემდგომ მოხდება დაკვირვებული ინფორმაციის თანამედროვე მიკროპროცესორებზე გადატანა და შესაბამისად, მთელი პროგრამული უზრუნველყოფა იქნება უფრო მაღალ დონეზე. კოსმოსური

სხივების დანადგარი შედგება 9 არხისგან, საიდანაც ინფორმაციის გადატანა ხდება კომპიუტერზე, შემდგომი დამუშავებისთვის. ძირითადად, თბილისის კოსმოსური სხივების ლაბორატორია არის მონაცემთა ცენტრი, რომელიც უზრუნველყოფს თბილისის კონკრეტულ ლოკალურ უბნებზე დაცემული კოსმოსური სხივების დეტექციას და გლობალურ სერვერებზე ატვირთვას. არსებული ელექტრონიკა (სურ. 1) არ გვამძლევს საშუალებას რომ ავტონომიურად მოხდეს მონაცემების დამუშავება და ატვირთვა სერვერებზე. განახლებულ ელექტრონიკაში (სურ. 2) კი გამოყენებული იქნება რაზბერის ტიპის მიკროპროცესორი, რომლის მეშვეობითაც მოხდება ყველანაირი ინფორმაციის ავტომატურ რეჟიმში გაგზავნა გლობალურ სერვერებზე, გრაფიკების აგება და დამუშავება (სურ. 3).

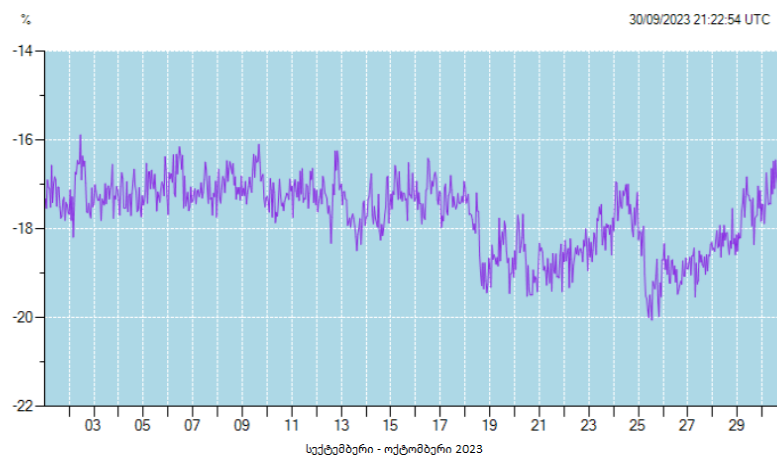


სურ. 1. არსებული ელექტრონიკა, დეტექტორი რომელზეც დატანლია 9 არხი, საიდანაც მიმდინარეობს კომპიუტერში ინფორმაციის გაგზავნა.



სურ. 2. რაზბერის ტიპის მიკროპროცესორი

მონიტორის საათობრივი მაჩვენებელი



სურ. 3. საათობრივი მაჩვენებელი მიმდინარე და გასული. თვეების მანძილზე

დასკვნა

მრავალმხრივი ურთიერთობა კოსმოსურ სხივებს, გეომაგნიტურ ველსა და კლიმატს შორის საჭიროებს შემდგომ კვლევას, მისი ბუნების სრულად გასაგებად და ეფექტების რაოდენობრივად შესაფასებლად. ამ მიზნით, თბილისის კოსმოსური სხივების ლაბორატორიაში მიმდინარეობს ტექნიკისა და პროგრამული უზრუნველყოფის მნიშვნელოვანი განახლება. აღნიშნული განახლებები მიზნად ისახავს კოსმოსური სხივების აქტივობის შესახებ უფრო ზუსტი მონაცემების მოწოდებას, მონაცემთა ავტონომიური დამუშავებისა და გადაცემის საშუალებას გლობალურ სერვერებზე და ყოვლისმომცველი ანალიზისა და მომავალი განახლებებისთვის დისტანციური წვდომის შესაძლებლობას. განვითარებადი ტექნოლოგია გვპირდება უფრო მოწინავე და ეფექტურ საშუალებას კოსმოსური სხივების, დედამიწის მაგნიტური ველისა და ჩვენი კლიმატის რთული ურთიერთქმედების შესასწავლას უფრო მაღალ დონეზე.

ლიტერატურა

- [1] Devendraa Singh, Singh R. P. The Role of Cosmic Rays in the Earth's Atmospheric Processes. // Pramana, Journ. of Physics, Indian Academy of Sciences, v. 74, No 1, 2010, pp. 153 - 168, <http://www.ias.ac.in/article/fulltext/pram/074/01/0153-0168>.
- [2] ChapanovYa., Gorshkov V. Solar Activity and Cosmic Ray Influence on the Climate. // Geomagnetism and Aeronomy, ISSN 0016-7932, vol. 59, No. 7, 2019, pp. 942-949.
- [3] Maghrabi A. H., Kudela K. Correlation Analysis between the Aerosol Optical Depth and Cosmic Rays. // 36th International Cosmic Ray Conference - ICRC2019- July 24th - August 1st, 2019 Madison, WI, U.S.A., 7 p., <https://pos.sissa.it/358/1113/pdf>
- [4] Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Gzirishvili T.G., Kharchilava J.F., Tavartkiladze K.A. Modern Climate Change in Georgia. Radiatively Active Small Atmospheric Admixtures. // Institute of Geophysics, Monograph, Trans. of M. Nodia Institute of Geophysics of Georgian Acad. of Sc., ISSN 1512-1135, v. LIX, 2005, 128 p.
- [5] Amiranashvili A.G. On the Role of Cosmic and Radioactive Radiation on the Formation of the Secondary Aerosols in Atmosphere. // Int. Conference "Near-Earth Astronomy 2007", Abstract, Terskol, Russia, September 3-7, 2007, p. 85.
- [6] Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Bakradze T.S., Chikhladze V.A., Glonti N. Ya., Kharchilava J.F., Tuskia I.I. On the Influence of Cosmic Rays on the Secondary Aerosols Formation in the Atmosphere. // 7th Int. Conference "Problems of Geocosmos", Abstract, St. Petersburg, Russia, May 26 - 30, 2008.
- [7] Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V. Photochemical smog in Tbilisi. // Monograph, Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, v. 63, Tb., 2012, 160 p., (in Georgian).
- [8] Mkurnalidze I., Kapanadze N. Cosmic Rays and their Influence on the Earth's Atmosphere (Contemporary Achievements). // Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, TbilisiTelavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 279-283, (in Georgian).
- [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>
- [10] Amiranashvili A.G., Bakradze T.S., Ghlonti N.Ya., Khurodze T.V., Tuskia I.I. On the Connection Between Annual Variations of the Intensity of Galactic Cosmic Rays and the Changeability of Cloudiness and Air Temperature in Tbilisi. // Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.19B, Tbilisi, 2016, pp. 128-134.
- [11] Amiranashvili A., Bakradze T., Erkomaishvili T., Ghlonti N., Tuskia I. On the Relationship of Annual Variations of the Intensity of Galactic Cosmic Rays with the Variability of Total Cloudiness, Atmospheric Precipitation and Air Temperature in Tbilisi in 1966-2015. // Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 23(2), 2020, pp. 64 – 71. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2320202731>
- [12] Todua M., Didebulidze G. G. Cosmic factors influence on the inter-annual variations of the green 557.7 Nm line and red 630.0 Nm line nightglow intensities and their possible coupling with cloud covering at Abastumani (41.75°N, 42.82°E). // Acta Geophysica, v. 62, iss. 2, 2014, pp. 381-399.
- [13] Didebulidze G.G., Todua M. Investigation of presence of cosmic factors in the inter-annual distributions of cloudless days and nights in Abastumani. // Sun and Geosphere, v.10, No.1, 2015, pp. 59-63.
- [14] Alaniya M.V., Bakradze T. S., Bochikashvili D.P., Glonti N.Ya., Dzhapiashvili T.V., Erkomaishvili G.G., Kvantaliani O.S., Kobakhidze Z.B., Rogavaz O.G., Tuskia I. I., Shatashvili L. Kh., Dorman L.I. The Tbilisi Experimental Cosmic Ray Array and the On-Line System for Automation of the Collection and Processing of Observation Data. // 15th International Cosmic Ray Conference, Vol. 9. Published: Budapest: Dept. of Cosmic Rays, Central Research Institute for Physics of the Hungarian Academy of Sciences, 1977. International Union of Pure and Applied Physics; Bulgarska akademiia na naukite. LCCN: 78-307721 12 volumes, p. 228
- [15] ქ. თბილისის კოსმოსური სხივების ლაბორატორიის მონაცემები. // <http://cr0.izmiran.ru/tbls/main.htm>
- [16] Amiranashvili A.G., Bakradze T.S., Erkomaishvili T.G., Ghlonti N.Ya. Comparative Statistical Analysis Of Annual Variation Of The Intensity Of Galactic Cosmic Rays (In Tbilisi, Almaty, Apatity, Moscow, Novosibirsk and Rome). // Journal of Radiobiology and Radiation Safety, E-ISSN 2720-8087, vol. 2, N 3, 2022, pp. 5-14, <https://radiobiology.ge/index.php/rrs/article/view/4840>

A BRIEF OVERVIEW OF OPERATION OF THE COSMOPHYSICS LABORATORY OF M. NODIA INSTITUTE OF GEOPHYSICS, TSU AT THE LAST PERIOD

Takadze G., Ghlonti N., Erkomaishvili T., Bakradze T.

*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
Gtakadze95@gmail.com*

Abstract. A brief overview of the latest work of the Cosmophysical Laboratory of M. Nodia Institute of Geophysics, TSU is presented. In addition, studies are being conducted on the relationship between cosmic ray variations and various climatic parameters. In order to increase the efficiency of these studies, the laboratory is upgrading equipment for recording cosmic rays.

Key-words. galactic cosmic rays, neutron component, climate, climate elements

ANALYSIS OF SOLAR ACTIVITY AND EARTH'S CLIMATE

Burdiladze L., Kharshiladze O., Modebadze Z.

*M. Nodia Institute of Geophysics, Tbilisi, Georgia
oleg.kharshiladze@gmail.com*

Abstract. In this paper we study the solar activity and its influence on the earth's climate by analyzing the following data (averaged monthly): Wolf Number, Total Solar Irradiance (TSI) and Global Ocean Temperature Anomalies from 1974 to 2021. We use the following data analysis methods: linear correlation analysis, Recurrence Quantification Analysis (RQA) and Cross Wavelet Transform.

Keywords: Sun-Earth connections, Solar Activity, Ocean Temperature, RQA, Correlation Analysis, Cross Wavelet Transform.

Introduction: Solar activity is responsible for many phenomena related to space weather. Processes that occur on the sun govern both space weather and Earth's climate, which is why the study of solar activity and Sun-Earth interactions is important. Solar activity is characterized by activity indexes. One of them is Wolf Number which is related to number of sunspots on the visible surface of the Sun by the formula $R = k(10G + N)$. R is Wolf Number, N is the number of sunspots, G is the number of sunspot groups and k is correction coefficient. Within 24 hours, the value of Wolf Number can become from 0 to 450. Also there exists another solar activity index called Total Solar Irradiance (TSI), which is the flux of solar electromagnetic radiation measured at 1 A.U. (Astronomical Unit) distance and integrated over all wavelengths[1,2]. The unit of Total Solar Irradiance is W/m^2 (watts per square meter) in SI units. We also use Global Ocean Temperature Anomalies as climate data. All three data are from 1974 to 2021 and are averaged monthly (Fig. 1(1,2,3)).

Data analysis methods: From the group of statistical tools, we use linear correlation analysis, which determines the correlation coefficient between two time series. It changes continuously from -1 to 1. In the analysis, we take a sliding window of fixed length, calculate the correlation coefficient and how it changes over time for several pairs of data: 1) TSI and temperature, 2) Wolf Number and TSI. Recurrence Quantification Analysis (RQA) is used to study complexity of a system. Along with the construction of the recurrent diagram quantitative measurements are evaluated:

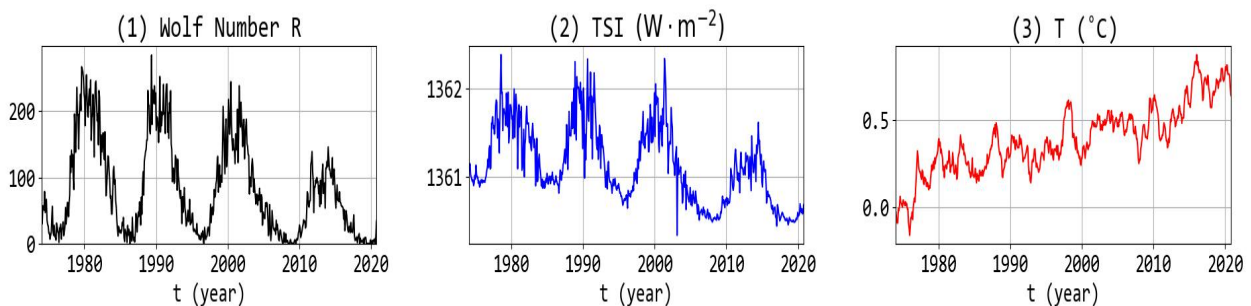


Fig. 1. (1) Wolf Number [6], (2) TSI[7] and (3) Global Ocean Temperature Anomalies[8] all averaged monthly.

Recurrence Rate (RR), Determinism (DET), Entropy (ENTR)[3]. As the extended usage of wavelet analysis, cross wavelet transform is applied to the calculation of common periods and phase angles of two time series[4]. We also use this method for different pairs of time series from Fig. 1.

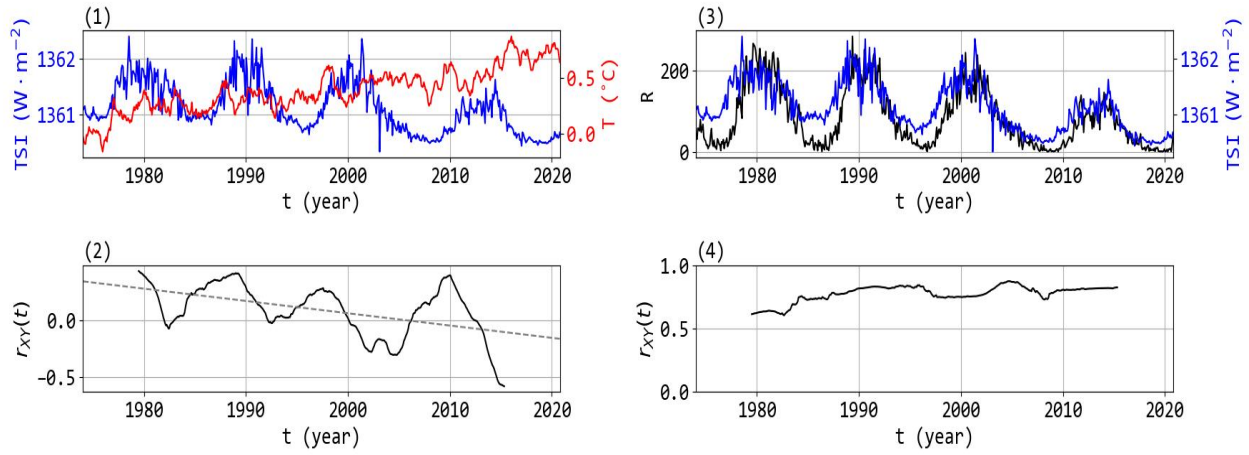


Fig. 2. (1) Monthly data of TSI and global ocean temperature anomalies. (2) Evolution of correlation between TSI and temperature and its linear trend (dashed gray line). The window size is 11 years. (3) Monthly data of Wolf Number and TSI. (4) Evolution of correlation between Wolf Number and TSI. The window size is 11 years.

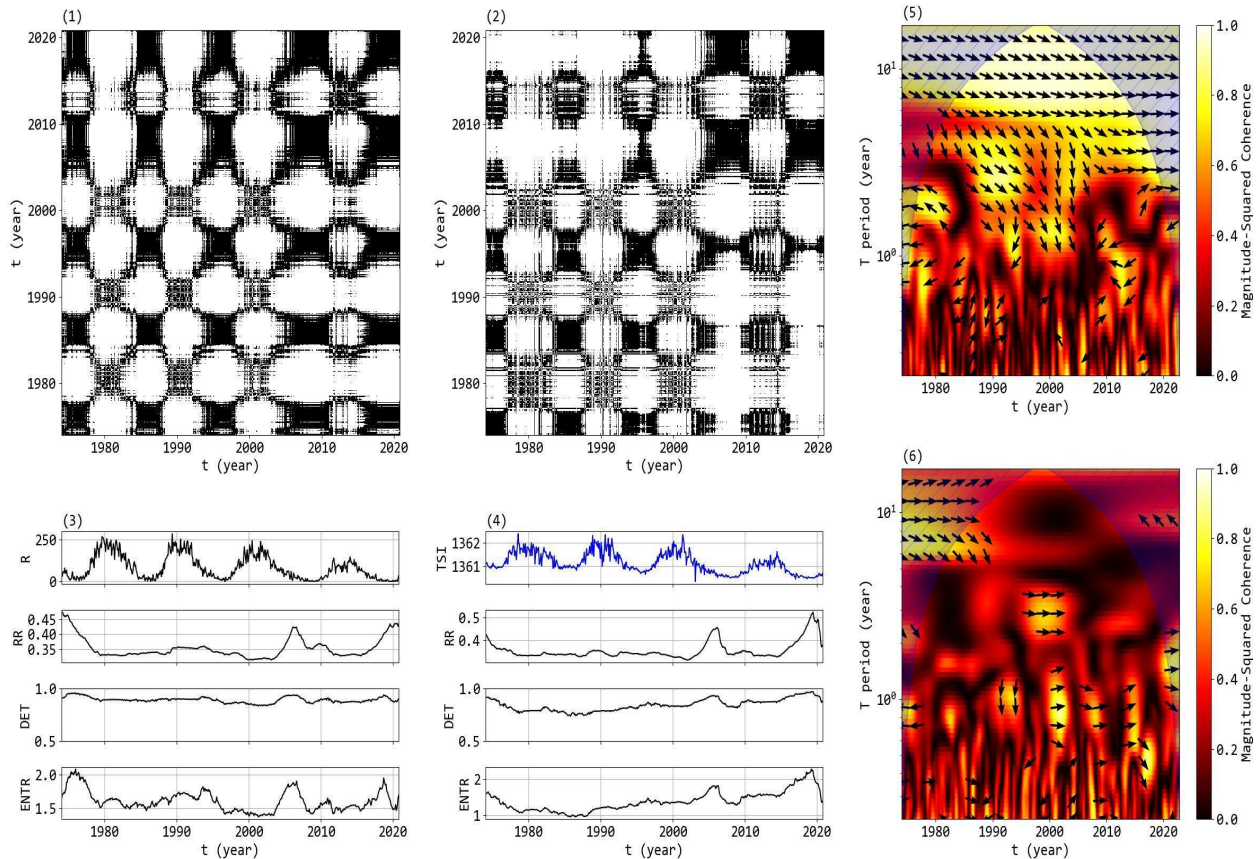


Fig. 3. (1)-(2) Recurrence Diagrams of Wolf Number and TSI. (3)-(4) Dynamics of RQA measures generated from (1)-(2). the window size is 10 years. (5) Wavelet coherence of Wolf Number and TSI. (6) Wavelet coherence of TSI and global ocean temperature anomalies.

Results: linear correlation analysis of Fig. 2(1) shows that the correlation between TSI and global ocean temperature varies periodically and also has a linear decreasing trend. The period of correlation is roughly 12 years and the tangent of linear trend is $\tan(\alpha) \approx -0.01 \text{ year}^{-1}$. Analysis of Fig. 2(2) shows strong correlation between

TSI and Wolf Number. Furthermore, in 1983 correlation starts to increase. Around this time, the 11-year solar activity begins to enter a new minimum. Recurrence Diagram of TSI and Wolf Number (Fig. 3(1,2)) shows that they both have periodic and noisy components. After about 2000 years, the black areas on both Recurrence Diagrams become larger, which is related to the beginning of the activity minima [5]. DET for monthly Wolf Number is close to 1. Evolution of TSI's DET shows that TSI is more deterministic during solar activity minima. we can conclude this if we observe DET on Fig. 3(4). Its value is lower during 1980-1990 and increases after 2000. Cross Wavelet Analysis shows that Wolf Number and Total Solar Irradiance are coherent in different time regions and on different time scales. Especially, the modes with a period of about 11 years have the longest coherence. In addition, for the given time period (1974-2021), phase difference between the modes of the 11-year period is constant and not equal to 0 (phase differences are indicated by the orientation of the arrows on Fig. 3(5)). This means that there is a delay between the main periodic activity of the Sun and its radiation measured on Earth. There are less time intervals and scales of the coherence of TSI and global ocean temperature. they are given on Fig. 3(6).

Conclusions: correlation analysis of solar activity and Earth temperature data shows that correlation between them changes with a period of about 12 years and also decreases linearly. For the given time period (1974-2021) correlation between TSI and Wolf Number is positive and increases after 1983. RQA of Wolf Number and TSI shows that the determinism of Wolf number is close to 1 and the determinism of TSI starts to increase after 1990. TSI and Wolf Number are characterized by high coherence and their main 11-year activity modes has constant nonzero phase difference. Wavelet coherence of TSI and global ocean temperature and their phase differences are given on Fig. 3(6).

Acknowledgment: The research was carried out with the support of Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia grant FR-22-18445.

References

- [1] Stickler G. Educational Brief – Solar Radiation and the Earth System. // National Aeronautics and Space Administration, 2016.
- [2] Carroll B. W. An introduction to modern astrophysics. // 2017.
- [3] Marwan N., Romano M.C., Thiel M., Kurths J. Recurrence Plots for the Analysis of Complex Systems. // Physics Reports, 438(5-6), 237-329, 2007. <http://www.recurrence-plot.tk/>
- [4] Yang, Ruo Wen, et al. Cross wavelet analysis of the relationship between total solar irradiance and sunspot number. // Chinese Science Bulletin, 55, 2010, pp. 2126-2130.
- [5] Stangalini M., et al. Recurrence quantification analysis of two solar cycle indices. // Journal of Space Weather and Space Climate, 7, 2017.
- [6] Wolf Number data. // <https://sidc.be/SILSO/datafiles>.
- [7] Total Solar Irradiance data. // <https://www2.mps.mpg.de/projects/sun-climate/data.html>.
- [8] Global Ocean Temperature Anomalies data. // <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/climate-at-a-glance/global/time-series>.

SOLAR ACTIVITY INFLUENCE ON THE CLIMATE VIA MAGNETIC TURBULENCE

Elbakidze Kh., Kharshiadze O., Ghurtchumelia A.

Ilia Vekua Institute of Applied Mathematics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia

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

Business and Technology University, Tbilisi, Georgia

Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia

Khatuna.chargazia@gmail.com

Abstract. Earth's climate is determined by complex interactions among the Sun, oceans, atmosphere, cryosphere, land surface and biosphere. The Sun is the principal driving force for Earth's weather and climate. The influence of solar activity on the Earth's global surface is determined due to temperature variation, which in turn drives the instabilities and is expressed via turbulent effects. Standard approaches to identify such connections are often based on correlations between the appropriate time series. Here we present a novel method Granger causality, which can infer/detect relationships between any two fields. We compare Solar activity – climate connections via magnetic turbulence identified by correlation and Granger causality at different timescales.

Key words: time series; causality; information transfer; time reversal; solar wind-magnetosphere-ionosphere system; space weather.

1. Introduction

The climate is a complex system characterized by several subsystems and many bidirectional relations between them. At present, the standard strategy to catch the complex behavior of climate is the application of dynamical modeling for the description of this dynamical approach and the conceptual and practical relevance of these simulations. The problem of understanding and weighting the main causes of recent climate change is generally faced by numerical experiments within this modeling framework. The final aim of these studies is to evaluate if one is able to attribute this change to some specific causes out of a number of possibilities. The situation is quite complex but, at least as far as the attribution of global temperature changes is concerned (a case of climatic attribution), the results coming from dynamical models are quite clear and indicate that the fundamental causes of recent global warming are anthropogenic forcings.

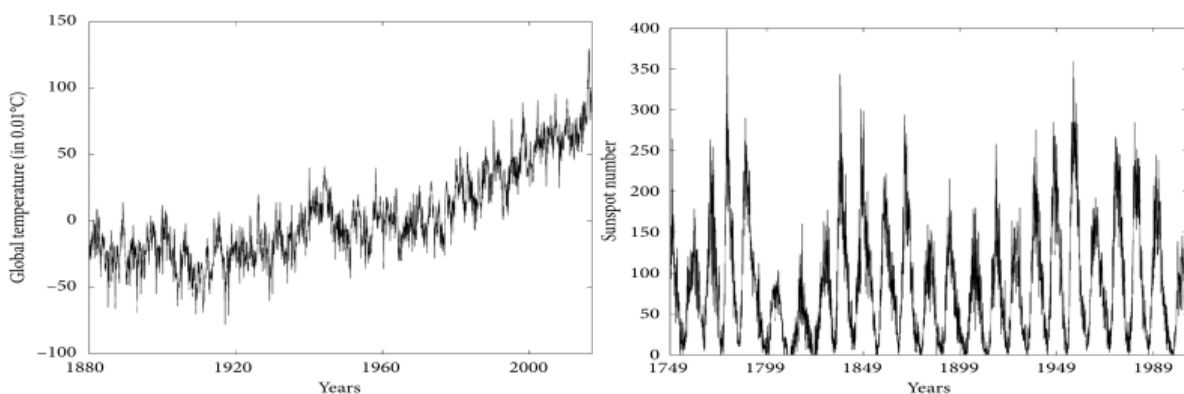


Fig. 1 (a) Monthly average of the sunspot number and (b) global surface temperature time-series profiles (Li et al 2018).

2. Data and Method

For sunspot numbers, we apply the data provided by the Solar Influences Data Analysis Center (<http://www.sidc.be/sunspot-data>). The data, which are presented by monthly frequencies, cover the period from January 1749 to December 2016. The sunspot number series has been replaced by a new improved set (version 2.0) since 2015. The new time series contains some appreciable improvements, including (i) the adoption of a new reference observer A. Wolfer (a pilot observer from 1876 to 1928) instead of R. Wolf himself and (ii) corrections of several past inhomogeneities in the solar series (Locarno drift correction (1981–2015), Waldmeier jump (1947–1980), Schwabe–Wolf correction (1849–1863), etc.). The details of the new sunspot number series are given by Clette and Lefevre [2] and are not reported here. Meanwhile, the global temperature time-series profiles are obtained from the Goddard Institute for Space Studies surface temperature analysis (GISTEMP) (<http://data.giss.nasa.gov/gistemp>).

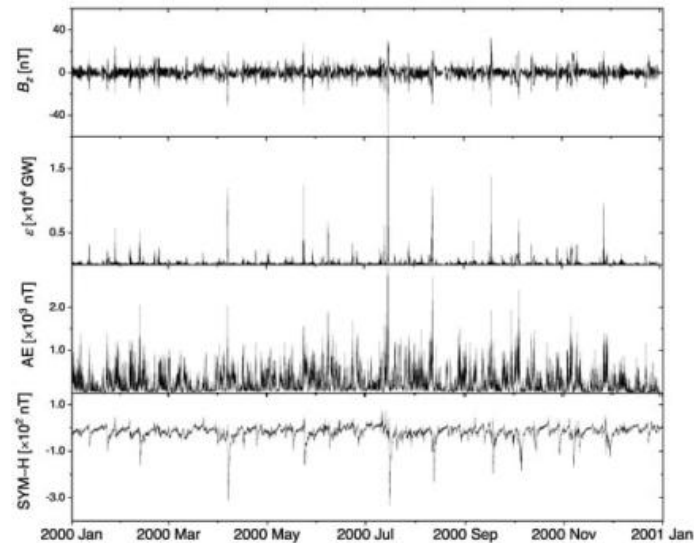


Fig. 2. One year period (2000) of (from top to bottom) the vertical component of the interplanetary magnetic field B_Z and solar wind–magnetosphere coupling parameter ϵ along with the geomagnetic activity indices of auroral electrojet (AE) and the symmetric field in the H component (SYM-H), with clear, strong activities. Time points with missing values are excluded from the analysis (Pouya et al 2018).

As shown in Figure 1(a), the sunspot numbers clearly have significant cyclical patterns with time-varying amplitudes, and they exhibit a dominant period every 128 months (approximately 11 years). Meanwhile, as shown in Figure 1(b), the global temperature variabilities are somewhat steady before 1960. However, from 1960 until the end of the analyzed period, a clear upward trend is observed.

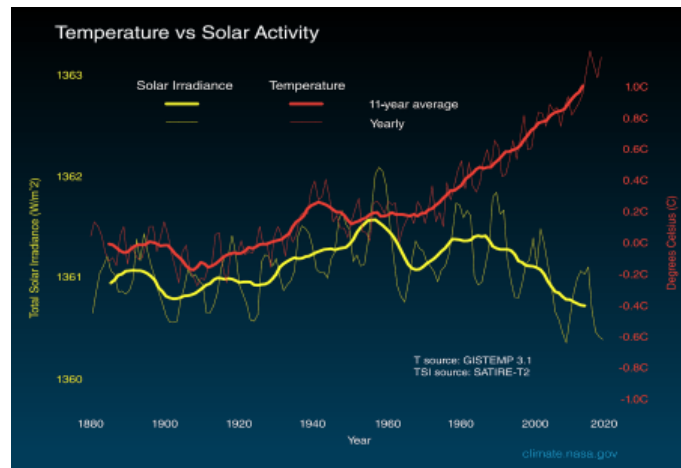
During the last years, analyses using the concept of Granger causality [3] have been performed to investigate the possible causal relations between external forcings and temperature behavior. In this paper we review the studies of climatic attribution via this inferential method.

During the last decade the notion of Granger causality has been used quite frequently in addressing specific causality problems in the climate system. For instance, Diks and Mudelsee [4] analyzed the results of an ocean drilling program in order to estimate the causal relationships and directions among data about insolation.

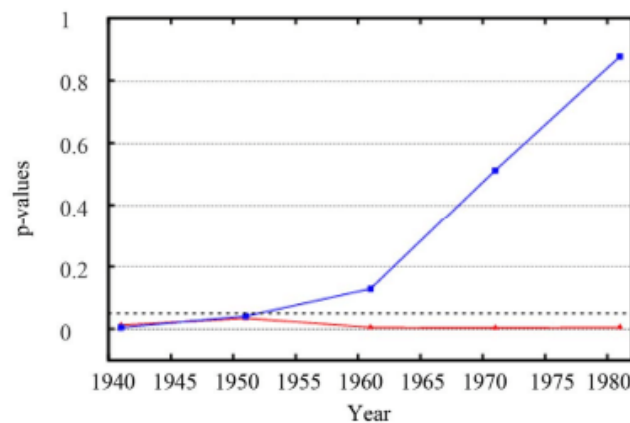
Kaufmann et al. [5] used satellite data and a Granger causality analysis for estimating causal influences of snow cover and vegetation on temperatures in different seasons. In a further study, considered that the strength of Atlantic hurricanes is related to the sea surface temperatures (SST) of this ocean, Elsner [6,7] applied a Granger causality analysis to time series of global temperatures (GT) and SST and found a causal link from GT to SST, thus corroborating the hypothesis of changes induced by global warming. Mosedale et al. [8] investigated SST effects on North Atlantic Oscillation (NAO)—an index which substantially drives the European winter climate—using data from simulations made with a coupled Global Climate Model (GCM). They showed that the so-called SST tripole index provides additional predictive information for the NAO than that available by using only past values of NAO, i.e. the SST tripole is Granger causal for the NAO. Kaufmann et al. [9] studied the effect of urbanization and enlargement of towns on precipitation in a Chinese case study. They applied Granger causality and clearly found

that, generally, urbanization causes a deficit in precipitation, even if differences for distinct seasons are detectable. Finally, Mohkov et al. [10] analyzed the relationship between El Niño Southern Oscillation (ENSO) and the strength of Indian monsoons. They found a bidirectional coupling which varies with time and this result shall be certainly useful for better understanding the dynamical mechanism behind this interaction.

The examples of application of Granger causality analyses just sketched show the potentiality of this technique in addressing causality problems in the climate system. Actually, however, in the realm of climate research there is a causality problem which overwhelms all other ones. It can be summarized in the question: what did cause the recent climate change or, at least, the recent global warming? Even considered the complexity of the climate system, which is the main external forcing that primarily induced the increase of temperature observed in the last century? Obviously, this is the main problem of attribution studies.



Given the potentialities of Granger analyses, it should not be a surprise that several studies have been performed by this technique in the framework of climatic attribution.



A number of attempts have been performed at applying the concept of Granger causality to climatic problems and, more specifically, to climatic attribution. After some pioneering works, where the choice of influencing variables is quite dubious or the dimensionality of the multivariate models probably exceeds the maximum number of parameters for obtaining reliable results, at present the application of Granger causality to the climate framework is quite well posed.

References

- [1] Li Zh., Yue J., Xiang Y., Chen J., Bian Y., Chen H. Multiresolution Analysis of the Relationship of Solar Activity, Global Temperatures, and Global Warming. // *Advances in Meteorology*, vol. 2018, Article ID 2078057, 2018, 8 p. <https://doi.org/10.1155/2018/2078057>
- [2] Clette F., Lefevre L. The new sunspot number: assembling all corrections. // *Solar Physics*, vol. 291, no. 9-10, 2016, pp. 2629–2651.

- [3] Granger C.W.J. Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-Spectral Methods. // *Econometrica*, Vol. 37, No. 3, 1969, pp. 424-438.
- [4] Diks C., M. Mudelsee M. Redundancies in the Earth's Climatological Time Series. // *Physics Letters A*, Vol. 275, No. 5-6, 2000, pp. 407-414.
- [5] Kaufmann R. K., Zhou L., Myneni R. B., Tucker C. J., Slayback D., Shabanov N. V., Pinzon J. The Effect of Vegetation on Surface Temperature: A Statistical Analysis of NDVI and Climate Data. // *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, No. 22, 2003, p. 2147.
- [6] Elsner J. B. Evidence in Support of the Climate Change —Atlantic Hurricane Hypothesis. // *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, No. 16, 2006, Article ID: L16705. <http://dx.doi.org/10.1029/2006GL026869>
- [7] Elsner J. B. // Granger Causality and Atlantic Hurricanes. // *Tellus A*, Vol. 59, No. 4, 2007, pp. 476-485. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0870.2007.00244.x>
- [8] Mosedale T.J., Stephenson D.B., Collins M., Mills T.C. // Granger Causality of Coupled Climate Processes: Ocean Feedback on the North Atlantic Oscillation. // *Journal of Climate*, Vol. 19, No. 7, 2006, pp. 1182-1194.
- [9] Kaufmann R.K., Seto K.C., Schneider A., Liu Z., Zhou L., Wang W. Climate Response to Rapid Urban Growth: Evidence of a Human-Induced Precipitation Deficit. // *Journal of Climate*, Vol. 20, No. 10, 2007, pp. 2299-2306
- [10] Mohkov I.I., Smirnov D.A., Nakonechny P.I., Kozlenko S.S., Seleznev E.P., Kurths J. Alternating Mutual Influence of El Niño/Southern Oscillation and Indian Monsoon. // *Geophysical Research Letters*, Vol. 38, 2011, Article ID: L00F04.
- [11] Pouya M., Balasis G., Consolini G., Papadimitriou C., Paluš M. Causality and Information Transfer Between the Solar Wind and the Magnetosphere–Ionosphere System. // *Entropy* 23, no. 4: 390, 2021. <https://doi.org/10.3390/e23040390>

SOME GEORADIOLOCATION IMAGES OF CYLINDRICAL BODIES BUILT WITH DIFFERENT DIELECTRIC FILLERS, PLACED IN A DIELECTRIC ENVIRONMENT

Odilavadze D., Chelidze T., Yavolovskaya O.

*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
Davit.odilavadze@tsu.ge*

Abstract. For mining-geological, speleological, archaeological, specific and other interests, it is important to study underground voids with partial water-air filling when they are in a homogeneous environment. In the sector of applied and experimental geophysics of the Institute of Geophysics of TSU, a study of GPR physical modeling for horizontally located cylindrical models was carried out. Models contain spaces bounded by a cylindrical surface filled with water, air and partly water-air. Georadar (GPR Zond 12-e, soft Prizm 2.6) profile studies were carried out in the plane of the horizontal placement of the model relative to the day surface and in planes directed perpendicular to the day surface. Based on the results obtained, the corresponding radio images and their frequency-geometric correspondences in natural conditions were identified and recorded.

Key words: georadar, radio image, GPR profiles, physical modeling

Introduction

Determination of the air-water component of the environment in a mine-rescue underground confined space; study of the state of laying geotechnical underground cables and condition of cable-conducting constructions; fullness of drainage channels, for invasive studies of archaeological deep voids; the need for deep protection of protected areas; speleological research from the day surface - for all this, it is important to study the complex dielectric composition of underground objects. In the study of the karst environment, an important place is occupied by the possibility of detecting spaces containing air and water, suffusions, siphons - their fixation by geographic, speleological and geophysical methods [1]. Despite the development of such methods as geolocation, electrometry, seismometry, the possible identification, localization and interpretation of a partially water-containing space presents a significant difficulty. With the help of the method of physical modeling of electromagnetic fields of GPR, it turned out to be possible to successfully solve a number of direct problems of electrostatics [2].

Instrumental and methodological part

At the Department of Applied and Experimental Geophysics of TSU, in the laboratory of GPR and electrometry of the Institute of Geophysics, physical modeling of electromagnetic fields in a homogeneous medium with dimensions of 1.5x1.5x2.4m was carried out on a modeling device. Three modeling options were considered: a fully water-containing, half-water-containing and fully air-containing model of a horizontal polyethylenecylinder (thickness of wall - 0.2-0.4mm, 0.17 m in diameter, with an axis of 0.3 m) placed horizontally in a homogeneous sand medium and with an axis directed perpendicular to the GPR profiles. Georadar profiles (Profiles 1-7) were carried out both on the day surface relative to the cylinder and three profiles in the vertical plane relative to the cylinder, the central one on the cylinder placement strip.

The task is to divide - fix and identify the radio image created by electromagnetic waves of the georadar for a cylindrical object, partially containing water and located in a homogeneous medium.

Results and discussion

The studies were carried out on the modeling facility of the Georadar Laboratory of the Applied and Experimental Geophysics Sector of the Institute of Geophysics of TSU [3]. Three models of a cylindrical body: completely filled with water, completely filled with air and half filled with water with non-galvanic coupling [4] in a homogeneous sand medium. Seven georadar profiles were drawn on the day surface of the model (GPR Zond 12-e, soft-Prizm 2.6), of which we present only the central ones.

On fig.1 from the interpretation of radargrams from diffracted waves of radio images of the surface of the cylinder, it can be seen that in all three cases, the location coordinates correspond to the length of the diameter of the cylinder outlined by white lines.

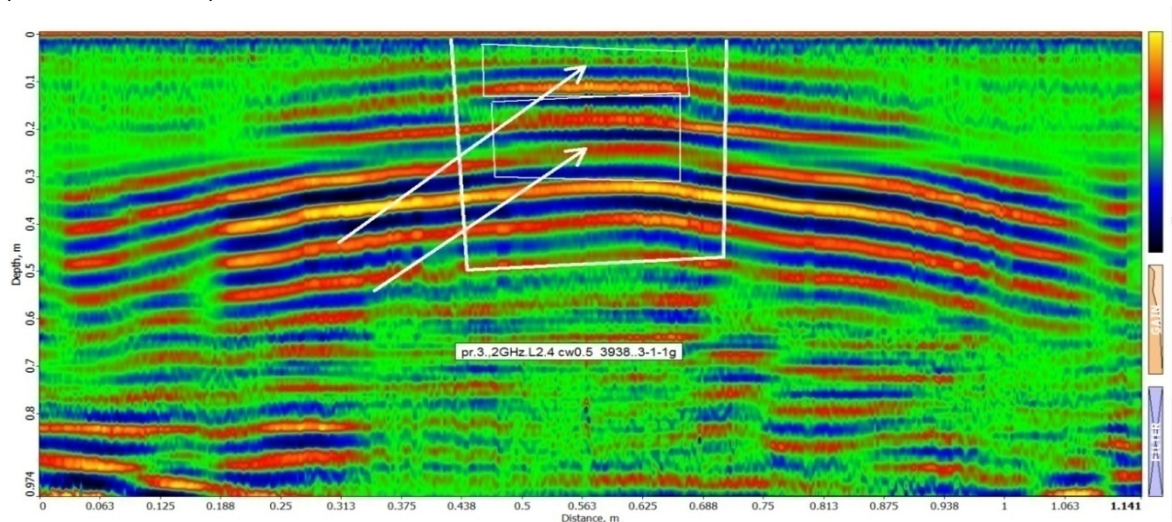


Fig.1. The radargram of the central profile 2.4m is presented, for a cylinder 0.3m long, half filled with water, when crossing the Zond 12-e georadar with a 2GHz antenna.

In this case, it turns out that the characteristics of the radio image are also visible from the lower side of the location of the cylinder. In particular, in fig. 1, a feature of the in-phase axes is noticeable - a sharp decrease in intensity at distances of 1-1.18m and at depths of 0.3-0.5m, which has a screening/shield character.

On fig. 1 axes of in-phase radio image are sharply divided into two parts. For depths of 0.1-0.25m, the watershed surface is clearly characterized in the cylinder space. Along with this, the lower extended part with a thickness of 0.3-0.5m also has a screening character.

On radargram of an air-containing cylinder contains a feature of in-phase axes for depths of 0.15-0.25m, which in width corresponds to the diameter of the cylinder, and at a depth of 0.3-0.5m it has an interference character of in-phase axes.

A strong interference image, which characterizes all three cylindrical models at distances of about 0.05-1m and depths of about 0.7m, arises as a result of the superposition of diffraction-reverberation phenomena from the vertical walls of the model block and requires additional studies for the vertical plane of GPR exposure.

GPR survey of horizontally located cylinder models was carried out from a vertical plane, GPR profiles were carried out along the side slopes of the research space in the direction perpendicular to the axes of the cylinders. Using the tracing and selection options, the rectangle marked with white circles corresponds to the location of the cylinder completely filled with water. The radio image represents the profile radargram 1V2., 2GHz., L2.4m., Rim. It should be noted that the size of the radio image is about 10 times larger than the size of the object itself. It is also important to note that the walls of the cylinder itself form a small "butterfly" in relation to the walls of the model space, which is quite understandable and provides an additional clue to confirm the presence of parallel walls.

Using the tracing and selection options, the box marked with white lines (Fig. 2) corresponds to the location of the cylinder half filled with water and half filled with air. The radio image represents the profile radargram 2V2, 2GHz, L2.4m, Rim. It should be noted that the size of the radio image is about 10 times larger than the size of the object itself. It is also important to note that the walls of the cylinder themselves form a small "bow tie" with the walls of the model space, creating an additional tell-tale sign of parallel walls.

The main envelopes are the so-called in-phase axes corresponding to the diffraction and forming a "plateau" at the near base of the cylinder under study at a distance of 1.05-1.25m and „mustache” a thickness of 0.3m, which fully corresponds to the dimensions of the cylinder.

Using the tracing and selection parameters (radargram is not shown here) - the rectangle marked with white circles corresponds to the location of the cylinder completely filled with air. The radio image represents the profile radargram 3V2, 2GHz, L2.4m, Rim. It should be noted that the size of the radio image is about 10 times larger than the size of the object itself. It is also important to note that the walls of the cylinder itself form a "butterfly" with respect to the walls of the model space, which is quite understandable and provides an additional clue to confirm the presence of parallel walls.

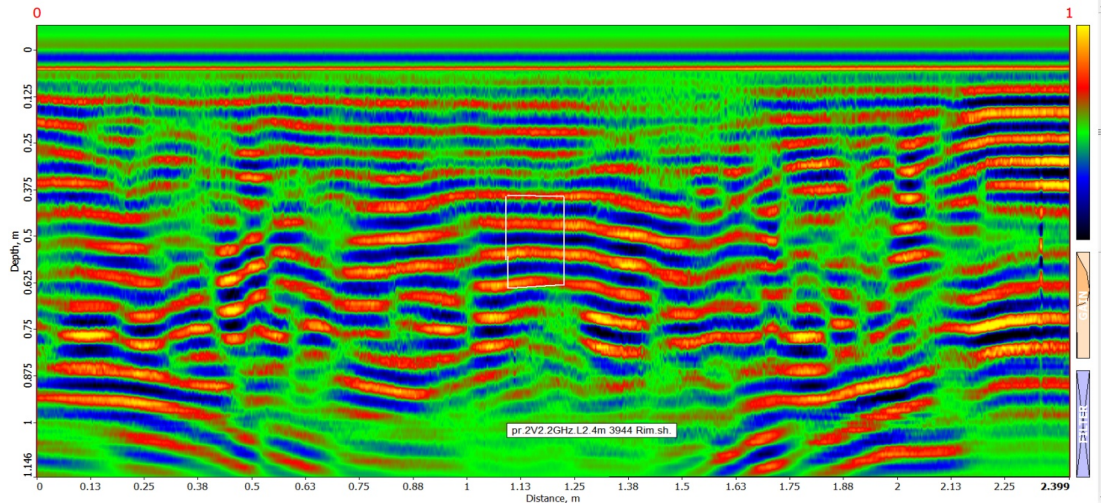


Fig. 2. The presented radargram corresponds to a central profile 2.4 m long, for a cylinder half filled with water and half filled with air, made by the Zond 12th georadar with a 2 GHz antenna in the vertical plane.

The main envelopes are the so-called in-phase axes corresponding to the diffraction "whisker". They form a set of horizontal in-phase axes in the marked rectangle with the base of the cylinder closest to the surface, at distances of 1.1-1.27m and a thickness of 0.3m, which fully corresponds to the dimensions of the cylinder.

From a comparative analysis of GPR profiles carried out in a vertical plane, it follows that the radio profile of a cylinder containing water corresponds to a clearly defined hyperbole. The radio profile of a cylinder containing half water and half air is formed as a degenerate hyperbola at the upper base with a plateau located between two humps. A cylinder completely containing air forms only a flat "plateau" containing a hyperbola.

Based on the theory of similarity of electromagnetic fields [2] using similarity coefficients [2], for laboratory geometric and frequency parameters, it can be concluded that in field conditions for a similar model, an object can be four times larger than the corresponding form of a radio form for a medium with a constant relative dielectric permeability with a central frequency of 500MHz.

Table 1.

$l_{m1}=1$	f_m	2GHz	500MHz	300MHz	150MHz	100MHz	75MHz	40MHz
$f_m=2\text{GHz}$	l_m	$l_{m1} \cdot (f = 2 \text{ GHz})$	4m	6.67m	13.3m	20m	26.7m	50m
$l_{m1}=1\text{m}$ $f_m=500\text{MHz}$	l_m		1m	1.67m	3.33m	5m	6.67m	12.5m
$l_{m1}=1\text{m}$ $f_m=300\text{MHz}$	l_m			1m	2m	3m	4m	7.5m
$l_{m1}=1\text{m}$ $f_m=150\text{MHz}$	l_m				1m	1.5m	2m	3.75m
$l_{m1}=1\text{m}$ $f_m=100\text{MHz}$	l_m					1m	1.33m	2.5m
$l_{m1}=1\text{m}$ $f_m=75\text{MHz}$	l_m						1m	1.88m

Table 1 shows the correspondences of the characteristic lengths of the geometric scale for different central frequencies of geolocation waves for identical radio images observed in model and field studies. The recalculation was based on the application of the basic relation of the theory of similarity [2]. Index-m corresponds to model parameters, and index-n corresponds to field, natural parameters under conditions of constant relative permittivity. In the case of different relative permittivity, one should take into account the numerical values of the corresponding similarity coefficient [4].

References

- [1] Lezhava Z., Tsikarishvili K., Asanidze L., Chikhradze N., Karalashvili T., Odilavadze D., Tarkhnishvili A. *The results of a complex study of the Turchu limestone hollow (polje). Western Georgia, Caucasus. // European Journal of Geography, BeISSN 1792-1341, vol. 12, iss. 3, 03-Nov-2021, pp. 6–20. DOI: <https://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, vol. LXVII, ISSN 1512-1135, 2017, pp. 129-142.*
- [4] Odilavadze D., Chelidze T., Tskhvediasvili 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.*

COMPLEX STUDY OF THE SUBSURFACE AT A SMALL DEPTH USING GEORADIOLOCATION AND ULTRASOUND METHODS

Odilavadze D., Varamashvili N., Chelidze T., Glonti N., Kiria J., Tarkhan-Mouravi A.

*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
Davit.odilavadze@tsu.ge*

Abstract. The subject of our research was to investigate, using georadiolocation and ultrasound methods, the influence of possible negative effects of plants on the foundation of a building located in the historical area of urban development. Georadar Zond 12e with its standard high-frequency 500 MHz shielded and 2 GHz high-frequency antennas was used in the research. Ultrasonic method is also an effective tool for determining the mechanical parameters of the environment and its mechanical structure. In the presented works, the ultrasonic equipment manufactured by the Swiss company PROCEQ, pulsed echo transmitter - Pundit PL-200PE was used. The presented research (study of underground layers) is not typical for the ultrasound method, although it was interesting to perform the work together with the geolocation method and to determine the possibility of complex investigation. The results obtained by radiolocation and ultrasound method do not contradict each other and there by increase the reliability of the conclusions.

Introduction

In Tbilisi, near the central entrance of the Art Museum, there are two perennial Platanus trees, the influence of their root system on the nearest part of the foundation may be destructive.

TSU Institute of Geophysics conducted a small-scale geophysical survey with the complex use of georadiolocation and acoustic methods to clarify this issue. Georadiolocation method is intended to study the structure of underground layers at near-subsurface depths (0-50 m) [1-7]. The ultrasonic method is used to study the internal structure of various environments, to determine their elastic parameters, etc. [8-11].

Georadiolocation works

Georadiolocation works were performed on 14 georadiolocation (8 parallel and 6 vertical) profiles, while georadar Zond 12e with its standard high-frequency 500MHz shielded and 2GHz ultra-high-frequency antennas was used, georadar data was collected and processed with the standard computer software Prizm 2.7.

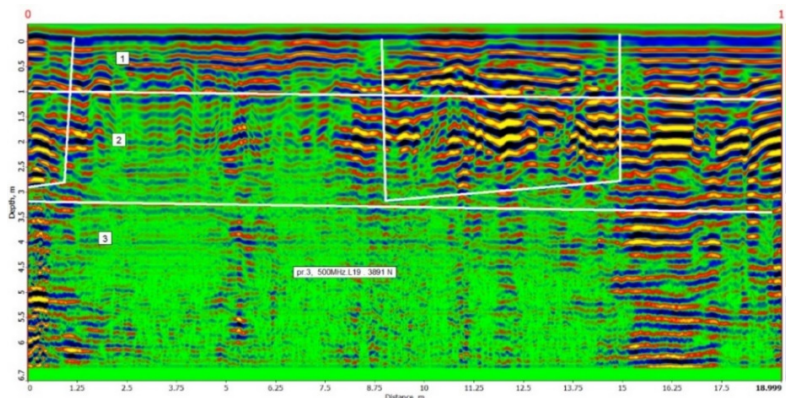


Fig. 1. The presented radargram runs parallel to the wall at a distance of 1.2m from it and is made with a 500 MHz antenna, on a 19m long profile of the GPR section, with a depth of 7m.

The task was to determine the possible root system of the Platanus tree in the near-subsurface location near the foundation of the building.

From the performed georadiolocation works, we bring, in our opinion, two parallel profiles along the foundation for 500 MHz and 2 GHz antennas, which determine the corresponding depths of penetration and the ability to distinguish covered objects.

Three geoelectric layers were identified on the georadar section presented in Fig. 1. Layers 1, 2 and 3 correspond to 7m power, separated according to the texture of the axes of sin-phase electromagnetic waves. Georadiolocation anomaly is marked at 9-15m distances, whose radio image corresponds to the heterogeneous area of the root system of the left, Platanus which extends from the daily surface to a depth of 3m. The influence of the right Platanus is slightly fixed at distances of 0-1.25m and with a depth of no more than 3m, its influence is practically absent in relation to the foundation. On the radargram, the radio image of part of georadiolocation anomalies and geoelectric layers are marked with white circles.

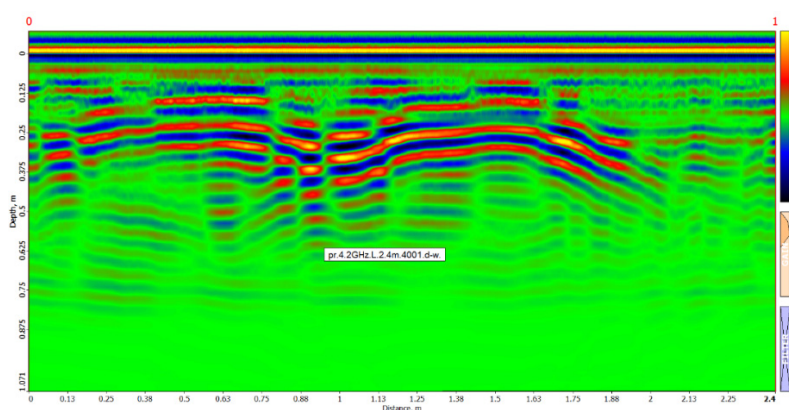


Fig. 2. Radargram for dry and moistened wood sample sections using 2MHz georadiolocation antenna, profile length 2.4m is presented.

Fig. 2 shows the cross-section of dry and wet wood for 5 cm thick samples from the radargram, less clearly for the dry and more clearly for the wetted sample. The location of the samples corresponds to their location recorded by radio sighting. A 5 cm cross section of a tree trunk sample used to simulate a 5 cm diameter tree root gives clearly defined radio image, which were not observed in the profiles taken along the building foundation. Thus, it can be said that the influence of roots in the immediate vicinity of the foundation is minimal and harmless to the structure in terms of underground damage.

Ultrasonic works

As proven in the world geophysical community, geophysical methods are used more and more often to solve various engineering and domestic tasks, to assess and investigate the condition of buildings and their infrastructure, and to carry out restoration works.

We used Pundit PL-200 and Pundit PL-200PE ultrasonic equipment to perform geophysical works.

Processing and visualization of wave and tomographic images obtained as a result of conducting ultrasound work was performed by means of "PL-Link" working program of Pundit - 200 and Pundit - 20PE.

In order to carry out the planned technical works, a work plan was drawn up, the purpose of which was to study the area surrounding the two tents in front of the main entrance of the art museum, in order to spread the roots of the tents in depth. We performed the work using the tomography (B-Scan) method.

We scanned three bands:

1. Near the wall at 69 points, with a range of 10 centimeters;
2. Parallel to the first strip, about 60 cm away from it, at 68 points, with a range of 10 cm;
3. Parallel to the first and second strip, 60 cm away from the second strip, parallel to them, at 69 points, with a range of 10 cm.

The penetration depth of the ultrasonic pulse into the medium depends on the density of the medium, voids, cracks and various inclusions in it and ranges from about 0.5 to 1 meter.

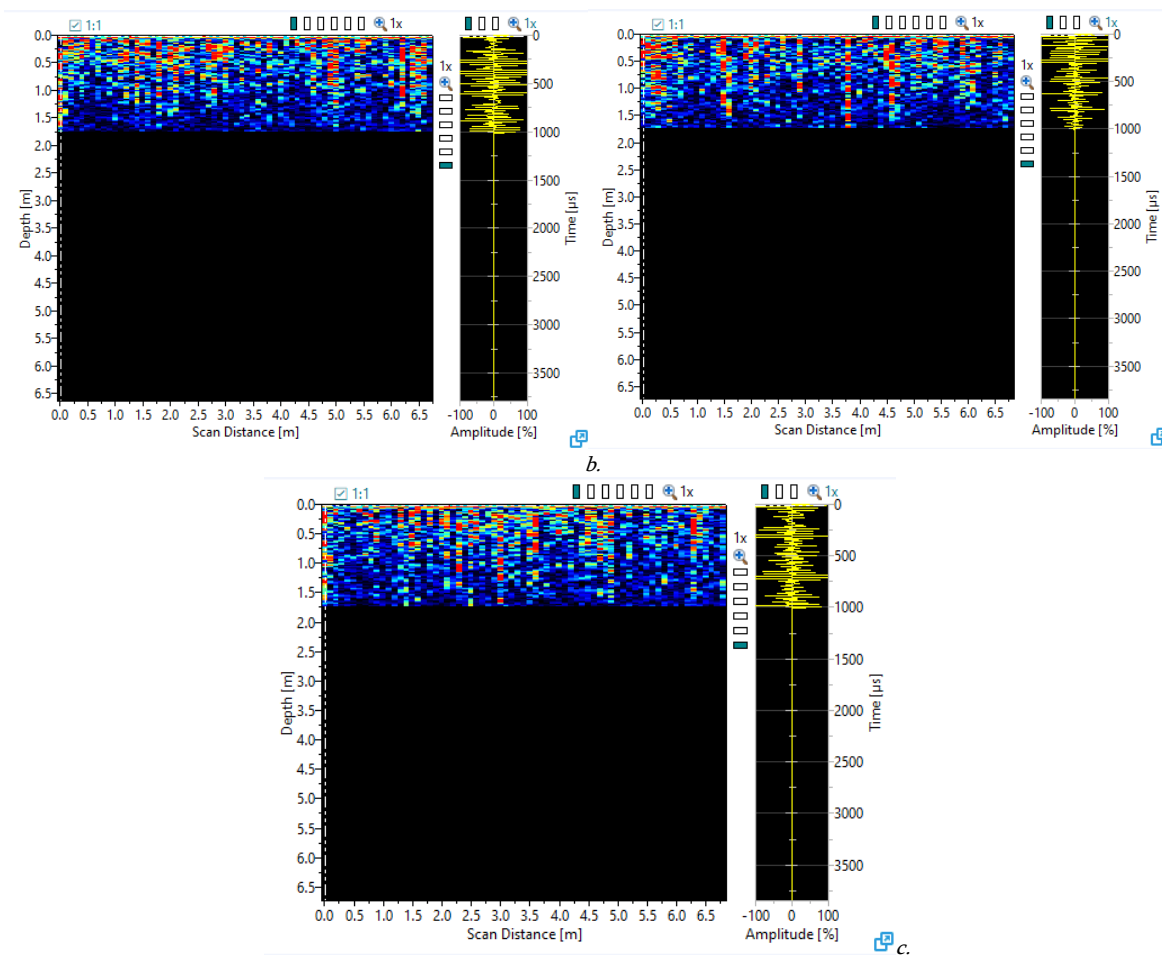


Fig. 3. B-Scan (tomogram) recordings obtained at (a) close to the wall of the art museum, with the maximum distance from the tree, (b) 60 cm from the wall, between the tree and the wall, and (c) 120 cm from the wall, as close as possible to the tree

In the presented tomograms, dark colored areas show weakened areas. fig. Comparative analysis of tomograms 3, 4, 5 shows some differences between them. However, it should be said that it is very difficult to identify weakened areas and connect them to the root system. Weakened areas may be related to various technical works carried out here. There is no such difference between the tomograms adjacent to the wall and the rest that we can uniquely connect it to the root system.

Conclusion

As a result of studying the influence of the root system of the Platanus trees located in the area near the central entrance of the National Art Museum of Georgia using georadiolocation and acoustic methods, it can be assumed that this influence on the foundation on the side of the facade of the building is minimal, since the presence of roots directly at the foundation of the facade is not fixed.

References

- [1] Odilavdze D.T., Chelidze T.L. Geophysical modeling of the georadiolocation field in direct and inverse tasks of electrodynamics. // Geophysical Journal v.35, №4, 2013 pp. 154-160 (in Russian).
- [2] Odilavdze D.T., Chelidze T.L. Physical modeling of lava tubes in the GPR. // Mikheil Nodia Institute of Geophysics, Transactions, vol. LXVII; ISSN 1512-1135, Publishing house of the Tbilisi State University, Tbilisi, 2017, pp. 129-142.
- [3] Odilavdze 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, vol. LXIX; ISSN 1512-1135, Publishing house of the Tbilisi State University, Tbilisi, 2018, pp. 44-61.

- [4] 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.4pp., 2020, pp. 51-56
- [5] Odilavadze D., Tarkhan-Mouravi A., Varamashvili N., Arziani Z. Prevention of the Danger Triggered by an Earth quake of Exogenous and Endogenous Processes, using a Combination of Geophysical Geoelectric Methods In Geotechnics. // International Scientific Conference Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation, Tbilisi, 2019.
- [6] Odilavadze D.T., Varamashvili N.D. Vertical electrical sounding and georadiolocation to assess groundwater level during orchard cultivation. // Journal of the Georgian Geophysical Society, 23(2), 2020.
- [7] Varamashvili N., Odilavadze D., Kiria J., Ghlonti N., Tarkhan-Mouravi A., Amilakhvari D. Vertical Electrical Sounding and Georadiolocation to Assess Landslide Area Water Saturation. // International Scientific Conference „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“ Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, 2021.
- [8] Varamashvili N., Chelidze T., Chelidze Z., Chikhladze V., Tefnadze D. Acoustic pulses detecting methods in granular media. // Journal of Georgian Geophysical Society, v. 16, 2013.
- [9] Varamashvili N., Chelidze T., Chelidze Z., Gigiberia M., Ghlonti N. Acoustics in Geophysics and Geomechanics. // Journal of Georgian Geophysical Society, v. 21, 2019.
- [10] Mohd Taufiq Mohd Khairi, Sallehuddin Ibrahim, Mohd Amri Md Yunus, Mahdi Faramarzi, Goh Pei Sean, Jaysuman Puspanathan, Azwad Abid. Ultra sound computed tomography for material inspection: Principles, design and applications. // Measurement 146, 2019, pp. 490-523,
- [11] Varamashvili N., Asanidze B., Jakhutashvili M. Ultrasonic Tomography and Pulse Velocity for Nondestructive Testing of Concrete Structures. // Journal of Georgian Geophysical Society, v. 23(2), 2020.

**შავი ზღვის სანაპირო ზოლის (ბრიგოლეთი-ყვავილნარი) გეომაგნიტური მეთოდებით
გამოკვლევა**

***გოგუა რ., *ქირია ჯ., *ღლონტი ნ., *თავართქილაძე შ., **წურწუმია ლ.**

** მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
** საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო
Kiria51@yahoo.com*

ანოტაცია. შავი ზღვის მაგნიტური ქვიშით დაფარული ტერიტორიის სამკურნალო ფაქტორების: კლიმატური პირობები, ზღვა, ზღვის რადიაცია, ზღვიური წარმოშობის მიკროელემენტები და მაგნიტური ქვიშის სამკურნალო პლაჟის ადამიანის ორგანიზმზე მოქმედების თავისებურებანი და მკურნალობის ძირითადი მეთოდები, სხვადასხვა დავადებების მკურნალობის ეფექტურობა დადგენილი იქნა ი. კონიაშვილის სახელობის კურორტოლოგიისა და ბალნეოთერაპიის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის კომპლექსური სამეცნიერო ექსპედიციის მიერ 1977-1978 წლებში [1], თუმცა აღნიშნული ტერიტორიების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორის ტერიტორიის მაგნიტური ველის, ქვიშის მაგნიტური შემთვისებლობის და ქვიშაში ფერომაგნიტური მინერალების პროცენტული შემცველობის დეტალური შესწავლა არ ჩატარებულა. სწორედ ამ ხარვეზის შევსებას ემსახურება წინამდებარე ნაშრომი.

საკვანძო სიტყვები: მაგნიტოძიება, ანომალური მაგნიტური ველი მაგნიტური ველი, გეოდინამიკური პროცესი.

შესავალი

საქართველოს ტერიტორიის შავი ზღვის სანაპიროზე გავრცელებული ქვიშის მაგნიტურობა პირველმა შეამჩნია მსოფლიოში ცნობილმა გეოლოგმა, აკადემიკოსმა გ. აბიხმა, XIX ს-ის 60-იან წლებში.

XX საუკუნის 30-იანი წლების ბოლოს საძიებო გეოფიზიკის ფუძემდებელმა საქართველოში პროფ. მ. ნოდამ პირველმა განსაზღვრა ქვიშის გავრცელების არეალში ტერიტორიის მაგნიტური ველის Z მდგენელის მნიშვნელობები და გააკეთა დასკვნა „აღნიშნულ უბანზე Z მდგენელის მაგნიტური ველი შეიძლება ჩაითვალოს თითქმის ნორმალურად“ [2, 3].

საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტის მეცნიერმა მუშაკმა რ. გოგუამ ი. კონიაშვილის სახელობის კურორტოლოგიისა და ბალნეოლოგიის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის კომპლექსური სამეცნიერო ექსპედიციის მუშაობის პერიოდში (1978 წელს) პირველმა გამოიკვლია ურეკში სასტუმრო „მეგობრობის“ მიმდებარე პლაჟის ტერიტორია გეომაგნიტური მეთოდებით.

წინამდებარე ნაშრომში, შავი ზღვის სანაპირო ზოლი დაყოფილ იქნა ოთხ უბანად, გრიგოლეთი 1, გრიგოლეთი 2, გრიგოლეთი 3 და ყვავილნარი, თითოეულ უბანზე განსაზღვრა დედამიწის მაგნიტური ველის T სრული მდგენელის აბსოლუტური მნიშვნელობები (მაგნიტომეტრით G856-AX, ბიჯით 10 მ), ქვიშის მაგნიტური შემთვისებლობა α (კაპამეტრით KM-7). აღებულ იქნა ქვიშის ლაბორატორიული გამოკვლევისათვის.

ოთხივე უბანზე სავსე გამოკვლევები ჩატარდა ზღვის პარალელურ სამ პროფილზე. ორ პროფილზე (პრ.-1; პრ.-2) განსაზღვრული იქნა დედამიწის მაგნიტური ველის სრული მდგენელი T-ს აბსოლუტური მნიშვნელობები, ხოლო მესამე პროფილზე, იმავე ბიჯით, განსაზღვრული იქნა ტერიტორიაზე გავრცელებული ქვიშის მაგნიტური შემთვისებლობა α .

საველე გამოკვლევებით მიღებული ინფორმაცია, ტერიტორიის მაგნიტური ველის შესახებ შესწორდა დუშეთის (თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორიის მონაცემებით და მსოფლიოს ნორმალური მაგნიტური ველის რუკის მიხედვით, რამაც მოგვცა საშუალება დაგვედგინა გამოკვლეული ტერიტორიის ნორმალური მაგნიტური ველის სიდიდე. დადგინდა, რომ 2023 წლისათვის გამოკვლეული ტერიტორიის მაგნიტური ველის ნორმალური მნიშვნელობა 49250 ნტლ-ს შეადგენს.

გრიგოლეთის უბანი 1.

გრიგოლეთის უბანი 1 იწყება ტერიტორიაზე, რომლის კოორდინატებია N=42°03'84" E=41°43'09" დამთავრდება ლანჩხუთის ფეხბურთელთა საწვრთნელ ბაზისთან კოორდინატებით N=42°03'33" E=41°43'40". სურ. 1-ზე წარმოდგენილია გრიგოლეთის უბან 1-ზე ჩატარებული საველე გეომაგნიტური კვლევების შედეგები, გრაფიკული სახით.

როგორც სურ. 1-დან ჩანს, უბნის პირველ პროფილზე (ზღვასთან ახლოს) ანომალური მაგნიტური ველი ძირითადად იცვლება 500-560 ნტლ-ს ფარგლებში, თუმცა დაწყებული 99 წერტილიდან ველი იმატებს და პროფილის ბოლოს 600 ნტლ-ს აღწევს. პროფილზე აღინიშნება მაგნიტური ანომალიის ცვლილების ცალკეული პიკები, რომლებიც პროფილზე ანომალური მაგნიტური ველის ძირითად ფონს ვერ ცვლიან. პროფილ-2-ზე მაგნიტური ველის გრაფიკული სახე თითქმის პირველი პროფილის ანალოგიურია. ამ პროფილზე დასაწყისიდან 54 წერტილამდე 500 ნტლ-ს რიგისაა, შემდეგ პროფილის ბოლოსაკენ იმატებს და საშუალოდ 530 ნტლ-ს უდრის. ამ პროფილზეც დაიკვირვება ანომალიის ცალკეული პიკები, რომლებიც ანომალიის ძირითად სურათს ვერ ცვლიან.

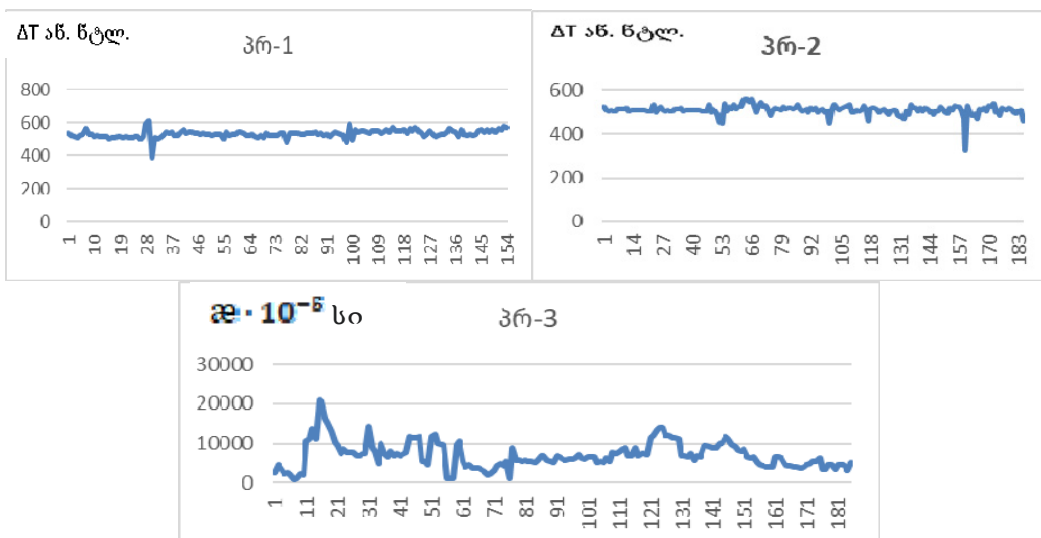
მესამე პროფილზე წარმოდგენილია ქვიშის მაგნიტური შემთვისებლობის ვარიაციების სურათი. როგორც სურათიდან ჩანს, ქვიშის მაგნიტური შემთვისებლობა ამ უბანზე (2000-12000) · 10⁻⁵ ნტლ-ს ფარგლებში იცვლება, ხოლო საშუალო მნიშვნელობა 7500 · 10⁻⁵ ნტლ-ს რიგისაა.

გრიგოლეთი, უბანი 2

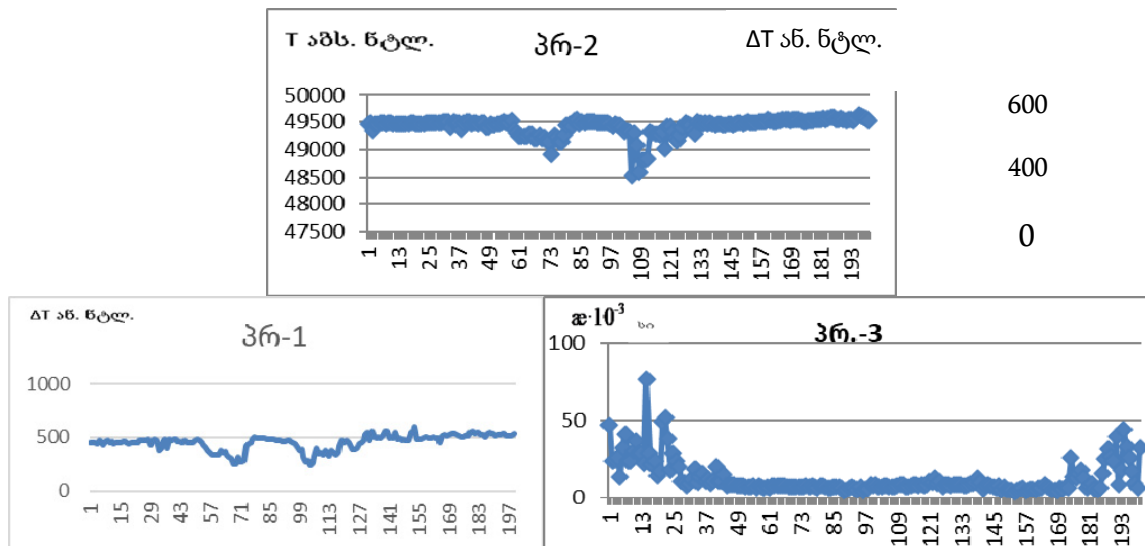
აღნიშნული უბანი, 2019 წელს საერთაშორისო საგრანტო პროექტით, შესწავლილ იქნა ზემოაღნიშნული ავტორების მიერ. ამ ეტაპზე ეს უბანი შევისწავლეთ განსხვავებულ წერტილებზე ბიჯით 10 მ. როგორც მოსალოდნელი იყო მიღებული შედეგები დიდწილად თანხვედრაშია ადრე მიღებულ შედეგებთან.

გამოსაკვლევი ტერიტორიის კოორდინატებია ჩრდილო დასავლეთით N 42°03'00", ხოლო სამხრეთ აღმოსავლეთით E 41°43'48". ჩვენს მიერ გამოკვლეული იქნა ორი კილომეტრის სიგრძის სანაპირო ზოლზე სამი პროფილი, ზღვის ნაპირის პარალელურად სურ. 2.

როგორც სურ. 2-დან ჩანს, ტერიტორიის ანომალური მაგნიტური ველის გრაფიკები საერთო ფორმით ერთმანეთის მსგავსია, თუმცა ცალკეულ პროფილებზე ანომალიის ცვლილების დიაპაზონი სხვადასხვაა და იზრდება პროფილი 1-დან პროფილი 2-კენ.



სურ. 1. გრიგოლეთის უბანი 1. ტერიტორიის ანომალური მაგნიტური ველის ΔT პროფილები 1,2, და ქვიშის მაგნიტური შემთვისებლობა χ პროფილი 3.



სურ. 2. გრიგოლეთის უბანი 2. ტერიტორიის ანომალური მაგნიტური ველის ΔT პროფილები 1;2, და ქვიშის მაგნიტური შემთვისებლობა პროფილი 3.

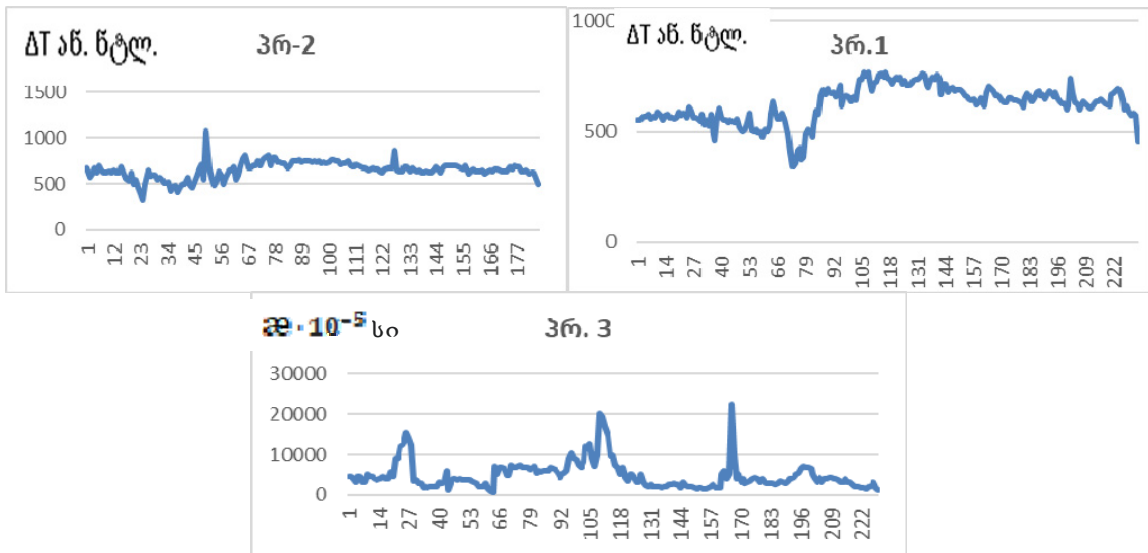
გრიგოლეთი, უბანი 2

პროფილი 1–ის დასაწყისიდან 500მ. მანძილზე მაგნიტური ველის ანომალია 450 ნტლ–ის რიგისაა, მცირედი ვარიაციებით. 500მ–ის შემდეგ ანომალური ველი 200 ნტლ–ით მცირდება და 700მ–ზე აღწევს მინიმუმს (250 ნტლ.). შემდეგ მაგნიტური ველი კვლავ იმატებს და 750–950მ–ის შუალედში 450 ნტლ. შეადგენს. პროფილის შუა წელიდან, სადაც მაგნიტური ანომალია 250 ნტლ. ტოლია, მაგნიტური ველი თანდათანობით იზრდება და 1300მ. წერტილზე აღწევს 500 ნტლ–ს. ამის შემდეგ მაგნიტური ველის ანომალია საშუალოდ 500 ნტლ–ს რიგისაა პროფილის ბოლომდე, მცირედი ფლუქტუაციებით. პროფილი 2–ის დასაწყისიდან 500მ. მანძილზე, ისევე როგორც პროფილ 1–ზე, ანომალური მაგნიტური ველის ინტენსივობა ძირითადად 450 ნტლ–ს ფარგლებშია, ანალოგიური ფლუქტუაციებით. პირველ პროფილზე დაფიქსირებული ანომალია 500–750მ მონაკვეთში უფრო მაღალი ინტენსივობით გამოჩნდა პროფილ 2–ზე. ამ მონაკვეთზე მაგნიტური ველის ანომალია ტერიტორიის ნორმალურ ველთან შედარებით 600 ნტლ–ით დაბალია. პროფილზე 825–950მ მონაკვეთში ანომალია ნორმალურ დონეს უბრუნდება, თუმცა 1000მ–დან დაწყებული ანომალური ველი კვლავ მკვეთრად ეცემა 900 ნტლ–ის ინტენსივობით. დაწყებული 1075 მეტრიდან 1300 მეტრამდე მონაკვეთში ანომალიის ინტენსივობა სწრაფად იზრდება მნიშვნელოვანი ვარიაციებით (200–300) ნტლ, ხოლო 1300მ–დან დაწყებული პროფილის ბოლომდე ანომალური მაგნიტური ველის ინტენსივობა 500 ნტლ–ის ფარგლებშია ± 50 ნტლ–ს ვარიაციებით.

გრიგოლეთი, უბანი 3

პროფილები იწყება სასტუმრო „ახალი ტალღის“ მიმდებარე ტერიტორიაზე კოორდინატებით N 42° 02' 21'', E 41° 44' 10'' და მთავრდება მდ. სუფსის შესართავთან კოორდინატებით N 42° 01' 18'', E 41° 45' 03''.

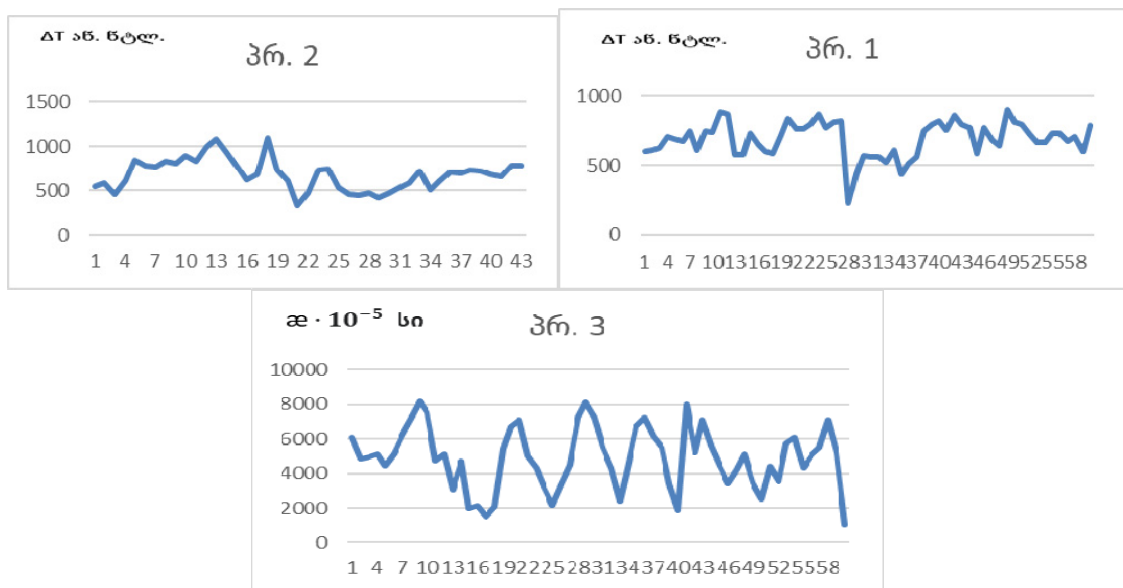
ჩატარებული საველე გეომაგნიტური კვლევების შედეგები წარმოდგენილია სურ. 3-ზე, როგორც სურათიდან ჩანს, ანომალური მაგნიტური ველის ორივე პროფილზე თვალსაჩინოდ გამოიყოფა მაგნიტური ანომალიის ორი დონე. პირველი პროფილის დასაწყისში ანომალიის საშუალო მნიშვნელობები 580 ნტლ–ს რიგისაა, ხოლო მეორე პროფილზე 640 ნტლ–ს.



სურ. 3. გრიგოლეთის უბანი 3. ტერიტორიის ანომალური მაგნიტური ველის ΔT პროფილები 1;2, და ქვიშის მაგნიტური შემთვისებლობა ΔE პროფილი 3.

ყვავილნარის უბანი.

ყვავილნარის ტერიტორიაზე პროფილები იწყება მდ. სუფსის ზღვასთან შეერთების ადგილას, კოორდინატებით N 42° 07' 07", E 41°45'11". ამ უბანზეც, ისევე, როგორც წინა უბანზე მაგნიტური ველი გამოკვლეული იქნა ორ პროფილზე. ერთ პროფილზე კი ქვიშის მაგნიტური შემთვისებლობა ΔE. სავსე გამოკვლევების შედეგები წარმოდგენილია სურ. 3-ზე. როგორც სურათიდან ჩანს, ამ უბნის, როგორც მაგნიტური ველის, ისე ქვიშის მაგნიტური შემთვისებლობის გრაფიკები მკვეთრად განსხვავდება წინა ორივე უბნის გრაფიკებისაგან, როგორც ინტენსივობით, ისე ცვლილების საზღვრებით. პროფილი -1-ზე დასაწყისიდან 28-ე წერტილამდე და 38-ე წერტილიდან პროფილის ბოლომდე მაგნიტური ველის ანომალიის ინტენსიობა 700 ნტლ-ის ტოლია. პროფილის შუა 28-37 წერტილებს შორის ანომალია იკლებს 500 ნტლ-მდე.



სურ. 4. ყვავილნარის უბანი ტერიტორიის ანომალური მაგნიტური ველის ΔT პროფილები 1;2, და ქვიშის მაგნიტური შემთვისებლობა ΔE პროფილი 3.

ქვიშის ლაბორატორიული გამოკვლევის შედეგები

ჩვენს მიერ გამოკვლეულ ტერიტორიაზე აღებული იქნა ქვიშის ნიმუშები. მასში ფერომაგნიტური მინერალების (მაგნეტიტი, ტიტანომაგნეტიტი) პროცენტული რაოდენობის დადგენის მიზნით. ქვიშის ნიმუშების ლაბორატორიული მინერალოგიური გამოკვლევა ჩატარდა ივ. ჯავახიშვილის სახელობის უნივერსიტეტის ალ. ჯავახიშვილის სახელობის გეოლოგიის ინსტიტუტის გეოლოგიური კვლევების კომპლექსურ ლაბორატორიაში.

გრიგოლეთი, უბანი 1

ამ უბნის დასაწყისში აღებული ნიმუში შეიცავს 10% მაგნეტიტს, 3,0% ტიტანომაგნეტიტს და მაგმური ქანების ნატეხების 3%, მეორე ნიმუში, რომელიც აღებულია პროფილის შუაში შეიცავს მაგნიტური ფრაქციის 11%, ტიტანომაგნეტიტის, ჰემატიტის და რკინის ჰიდროქსიდების 8%-ს. ამ ნიმუშში მაგნეტიტი 3%-ია. 2%-ია მაგმური ქანების ნატეხები ზომით 0,1-0,5 მმ.

მესამე ნიმუშში, რომელიც აღებულია პროფილის ბოლოს შეიცავს 12% მაგნეტიტს, 4% ტიტანომაგნეტიტს და 3% რკინის მადნეული მინერალების ხარჯზე გაჩენილ ჰემატიტს 3%-ს.

გრიგოლეთი უბანი 2 და 3

უბნის დასაწყისში აღებული ნიმუში შეიცავს 7,5% მაგნიტურ ფრაქციას, 2,5% მაგნეტიტს და 5% ტიტანომაგნეტიტის, ჰემატიტის და რკინის ჰიდროქსიდებს. ნიმუშში აღმოჩნდა აგრეთვე ბაზალტის და ანდეზიტის ნატეხები 10%, რომელთა ზომები 0,1-0,7 მმ-ს შეადგენს.

მეორე ნიმუშში, რომელიც აღებულია პროფილების დასაწყისიდან ერთი კილომეტრის მოშორებით, მინერალოგიური მდგომარეობა ასეთია. მაგნიტური ფრაქცია 8%, ტიტანომაგნეტიტი და რკინის ჰიდროქსიდები 5%.

მესამე ნიმუში, რომელიც აღებულია მდ. სუფსის შესართავთან, შეიცავს 4% მაგნეტიტს, 2% ტიტანომაგნეტიტს, ბაზალტის და ანდეზიტის ნატეხებს 3%, რომელთა ზომები 0,1-0,4 მმ-ის ფარგლებშია.

ყვავილნარის უბანი

ამ უბანზე პირველი ნიმუში აღებულია მდ. სუფსის შესართავთან ახლოს, იქ, სადაც იწყება პროფილები. პირველ ნიმუშში აღმოჩნდა მაგნეტიტი 12%, ტიტანომაგნეტიტი 6%, მაგმური ქანების ნატეხები 3,5%.

მეორე ნიმუში აღებულია პროფილის შუაში, იგი შეიცავს მაგნეტიტის 20%, მასში მაგნიტური ფრაქცია 61%-ია. შეიცავს აგრეთვე ტიტანომაგნეტიტის, ჰემატიტის და რკინის ჰიდროქსიდებს - 41%. მასში მაგმური ქანების წილი 2%-ს შეადგენს, რომელთა ზომებია 0,1-0,9 მმ.

მესამე ნიმუშში, რომელიც აღებულია პროფილის ბოლოს შეიცავს 15% მაგნეტიტს, 27% მაგნიტურ ფრაქციას, 15% ტიტანომაგნეტიტს, ჰემატიტს და რკინის ჰიდროქსიდებს. ამ ნიმუშში მაგმური ქანების ნატეხების რაოდენობა 3%-ია, ხოლო მათი ზომები 0,1-0,9 მმ-ის ფარგლებშია.

ჩატარებული საველე და ლაბორატორიული გამოკვლევების შედეგების ინტერპრეტაცია

გრიგოლეთი-ყვავილნარის ტერიტორიაზე ჩვენს მიერ ჩატარებულმა გეომაგნიტურმა გამოკვლევებმა მკაფიოდ დაგვანახა ტერიტორიის ანომალური მაგნიტური ველის რეალური სურათი. აღსანიშნავია, რომ ტერიტორიაზე გამოკვლეული ცალკეული უბნები მკვეთრად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან მაგნიტური ანომალიის როგორც ხასიათით, ისე ინტენსივობით და ქვიშაში ფერომაგნიტური მინერალების პროცენტული შემცველობით.

გამოკვლევული ტერიტორიის დასავლეთ მხარეს (გრიგოლეთი, უბანი 1) ქვიშით დაფარული სანაპირო ყველაზე ფართოა, ამავე დროს ყველაზე სუფთა, როგორც მაგნიტურობის თვალსაზრისით, ისე ვიზუალურად. შესაბამისად ანომალური მაგნიტური ველი არის ერთგვაროვანი, მაგრამ ინტენსიური და იცვლება 500-550 ნანოტესლის ფარგლებში. ამ ტერიტორიაზე არ შეინიშნება ანომალური მაგნიტური ველის დამახინჯების არავითარი წყარო. აქედან გამომდინარე ნათელია, რომ ტერიტორიის ანომალური მაგნიტური ველის ძირითადი წყაროა ფერომაგნიტური მინერალებით მდიდარი ქვიშა, რომლის შემცველობა ამ ტერიტორიაზე, სამი ნიმუშის მიხედვით არის 13%.

გრიგოლეთის (უბანი 3). ამ უბანზე ანომალური მაგნიტური ველი გაცილებით ინტენსიურია და იცვლება უფრო ფართო საზღვრებში, ვიდრე პირველ უბანზე. ეს არც არის გასაკვირი, რადგან მთელ უბანზე ვიზუალურადაც დაიკვირება სხვადასხვა ზომის და ფორმის რკინის შემცველი საგნები, რკინის მილები, პროფილის გასწვრივ ბეტონის ღობეები, ტერიტორიის დიდ ნაწილზე დაყრილია სხვადასხვა შემადგენლობის ქვა-ღორღი, რაც ქმნის გარკვეული ინტენსიობის მაგნიტურ ველს, რომელიც ემატება ტერიტორიის ველს და იწვევს მის დამახინჯებას. უბანზე ქვიშის საფარი მხოლოდ დასაწყისშია, შემდეგ ის საერთოდ აღარ არის, ან ფრაგმენტულად შეინიშნება მისი გავრცელების არე. აქედან გამომდინარე ტერიტორიის ანომალური მაგნიტური ველის ცვლილების ფარგლები საკმაოდ ფართოა და ამავე დროს ინტენსიური, რომლის ძირითადი წყაროა ზემოთ ჩამოთვლილი ტექნოგენური მიზეზები, ხოლო ზღვის სანაპიროზე გავრცელებული ქვიშის წვლილი, ანომალური მაგნიტური ველის ფორმირებაში მცირეა. ზემოთ ნათქვამს ადასტურებს ტერიტორიაზე ჩატარებული კაპამეტრული გამოკვლევებიც, რომლის გრაფიკზე მრავლადაა ინტენსიური პიკები, რომელიც არ შეიძლება გამოწვეული იყოს ქვიშის მაგნეტიზმით, რადგან ამ უბანზე ქვიშაში მაგნიტური მინერალების პროცენტული რაოდენობა მცირეა: ერთ ნიმუშში მაგნეტიტი 2,5%-ია, მაგნიტური ფრაქცია 7,5%, ტიტანომაგნეტიტი და რკინის ჰიდროქსანგი 5%-ია. მე-3 ნიმუშში მაგნეტიტი 6%-ია, ხოლო ტიტანომაგნეტიტი 4%.

ტერიტორიაზე ქვიშის ფერომაგნიტური მინერალების ასეთი დაბალ პროცენტული შემადგენლობას არ შეიძლება გამოეწვივა დაფიქსირებული ანომალური მაგნიტური ველი.

ყვავილნარის უბანზე ანომალური მაგნიტური ველი სრულიად განსხვავებულია წინა უბნებისაგან, როგორც ფორმით ისე ინტენსიობით. განსხვავება კიდევ უფრო აშკარაა ქვიშის მაგნიტური შემთვისებლობით და ქვიშაში მაგნიტური მინერალების მაღალი კონცენტრაციით.

ამ უბანზე ქვიშის მაგნიტური შემთვისებლობა წინა ორ უბანთან შედარებით ერთი რიგით მაღალია, რაც გამოწვეულია ქვიშაში მაგნიტური მინერალების მაღალი კონცენტრაციით: ერთ ნიმუშში მაგნეტიტი 10%, ტიტანომაგნეტიტი 6%, მეორე ნიმუშში მაგნეტიტი 12 %, ტიტანომაგნეტიტი და რკინის ჰიდროქსანგები 15%, მესამე ნიმუშში მაგნეტიტი 20 %, მაგნიტური ფრაქცია 61 %, ტიტანომაგნეტიტი, რკინის ჰიდროქსანგები 4%.

დასკვნა

შავი ზღვის სანაპიროს, ლანჩხუთის მუნიციპალიტეტის კუთვნილი ტერიტორიის, დეტალურმა გეო-მაგნიტურმა გამოკვლევებმა ნათლად წარმოაჩინა ტერიტორიის ანომალური მაგნიტური ველის რეალური სურათი. ტერიტორიის გამოკვლევული უბნებიდან, ანომალური მაგნიტური ველის, ქვიშის მაგნიტური შემთვისებლობის და ქვიშაში ფერომაგნიტური მინერალების რაოდენობით ყვავილნარის უბანი გამორჩეულია, რომლის ანომალური მაგნიტური ველის ინტენსიობა საშუალოდ 700 ნანოტესლის ტოლია. მის ძირითად წყაროს წარმოადგენს ფერომაგნიტური მინერალებით მდიდარი ქვიშა, რომლის მაგნიტური შემთვისებლობა ერთი რიგით მაღალია სხვა უბნებთან შედარებით და საშუალოდ ტოლია $70000 \cdot 10^{-5}$ სი ერთეულის.

ანომალური მაგნიტური ველი გრიგოლეთის მესამე უბანზეც მაღალია, თუმცა იქ ანომალიის ძირითადი წყაროა ქვიშასთან ერთად ტექნოგენური წყაროები.

გამოკვლევული უბნებიდან ყველაზე სუფთა (მაგნიტურად) უბანია გრიგოლეთის პირველი უბანი, რომლის ანომალური მაგნიტური ველის ფორმირებაში ძირითადი როლი ეკუთვნის ქვიშას.

ყვავილნარი-გრიგოლეთის ზღვისპირა ზოლის მაგნიტური, მინერალოგიური, ლითოლოგიური, გეოლოგიურ-გეოფიზიკური გამოკვლევების შედეგად მიღებული მეცნიერული დასკვნები გვაძლევს საფუძველს გამოვთქვათ იმედი, რომ ეს ზღვისპირა ზოლი მომავალში გახდეს ერთ-ერთ გამორჩეული გამაჯანსაღებელი სარეაბილიტაციო კურორტი.

ლიტერატურა

- [1] ურეკი-შეკვეთილის საკურორტო ზონის ეკოლოგიური მდგომარეობის კვლევის შედეგები. // შემსრულებელი შპს "გამა კონსალტინგი", დირექტორი ე. გახარია, თბილისი 2015 წ., 69 გვ.
- [2] Нодиа М.З. Магнитные пески и магнитное поле Черноморского побережья. // Тез. Сесии Груз. ФАН СССР, 1939 г.
- [3] Нодиа М.З. К вопросу применимости магнитометрического метода разведки к магнитным пескам Черноморского побережья. // Сообщ. Груз. Фил. АН СССР. т.1, №6, 1940 г.
- [4] გოგუა რ. აცანა, ურეკი, შეკვეთილის გეომაგნიტური ექსპედიციის ანგარიში.// თბილისი 2015 წ., 24 გვ.

INVESTIGATION OF THE BLACK SEA COASTLINE (GRIGOLETI-KUKHNARI) BY GEOMAGNETIC METHODS

***Gogua R., *Kiria J., Ghlonti N., *Tavartkiladze Sh., **Tsurtsumia L.**

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

*** Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia*

Kiria51@yahoo.com

Abstract. One of the important factors of the Black Sea areas, the magnetic field of the area, the magnetic absorption of sand and the percentage of ferromagnetic minerals in sand have not been studied. This paper serves to fill this gap.

As it was determined from the conducted works, the cleanest (magnetically) area of the examined areas is the first area of Grigoleti, whose main role in the formation of anomalous magnetic field belongs to sand.

Key words: magnetoexploration, anomalous magnetic field, magnetic field, geodynamic process.

**გრუნტის ჩაქცევის (ძაბრისებური ფორმის) შესწავლა
ელექტროძიების მეთოდით**

ვარამაშვილი ნ., ქირია ჯ., ღლონტი ნ., დვალი ლ.

მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
ldvarama@gmail.com

ანოტაცია. ელექტროძიების მეთოდები იძლევა საშუალებას დავადგინოთ გეოლოგიური გარემოს ელექტრული მახასიათებლები (წინააღმდეგობა, გამტარობა და ა.შ.) და მათზე დაყრდნობით გავაკეთოთ დასკვნები შესწავლილი ტერიტორიის აგებულების და დატენიანების შესახებ. ნაშრომში წარმოდგენილი მასალები მიღებულია, გრუნტის ძაბრისებური ჩაქცევის მიდამოებში, ვერტიკალური ელექტრული ზონდირების მეთოდით ჩატარებული კვლევების საფუძველზე. მიღებული შედეგების ანალიზზე დაყრდნობით გაკეთებულია დასკვნები ქანების ტიპების, მათი სიღრმული განაწილების და დატენიანების შესახებ. ეს გვაძლევს საშუალებას გავაკეთოთ დასკვნები გრუნტის ჩაქცევის გენეზისის, მისი სავარაუდო კვების წყაროს და მისი გავრცელების არის შესახებ.

საკვანძო სიტყვები: ელექტროძიება, ვერტიკალური ელექტრული ზონდირება, გეოდინამიკური პროცესი.

შესავალი

ელექტროძიებაში (წინააღმდეგობის მეთოდში) გამოიყენება ხელოვნური დენის წყარო. დენი მკვებავი ელექტროდების საშუალებით აღწევს გრუნტში და მის მიერ აღძრული პოტენციალთა სხვაობა იზომება მიმდებარე ელექტროდების საშუალებით დღიურ ზედაპირზე [2,3,4]. ელექტროძიების მეთოდი გამოიყენება ახლო ქვეზედაპირების აგებულების და ამგები ქანების ტენიანობის დასადგენად [1-4]. ეს საშუალებას იძლევა, რომ ელექტროძიების მეთოდი გამოყენებული იქნას მეწყრული პროცესების, მათ შორის ჩაქცევის შესასწავლად [1]. ჩვენს კვლევაში ვიყენებდით ვერტიკალური ელექტრული ზონდირების მეთოდს. ვერტიკალური ელექტრული ზონდირების მეთოდში ამოცანის სახეობის მიხედვით ელექტროდების სხვადასხვა კონფიგურაცია გამოიყენება. ჩვენს ამოცანებში ვიყენებდით შლუმბერჟეს მეთოდს. შლუმბერჟეს მეთოდის გამოყენებისას მიმდებარე ელექტროდები ფიქსირებულია დანადგარის ცენტრში, ხოლო მკვებავი ელექტროდების გაშლა ნაბიჯ-ნაბიჯ იზრდება [4].



ნახ.1. ელექტროსაძიებო ხელსაწყო (Earth Resistivity Meter PASI 16GL-N) და სამუშაო არე (მარტვილის მუნიციპალიტეტის სოფელ კურზულში ერთ-ერთ ნაკვეთში მიმდინარე სახიფათო გეოდინამიკური პროცესი).

დიდი კავკასიონის სამხრეთ ფერდობის გასწვრივ გადაჭიმულია ბორცვოვანი მთისწინეთი V - სახის განივი ველებით 100-600 მეტრის ინტერვალში, რომლებიც აგებულია ზედა ეოცენის მერგელებით, მაიკოპის თიხებით. საკვლევ უბანზე ძირითადად გავრცელებულია მაიკოპის და კარბონატული თიხები, რომლებიც გადაფარულია მეოთხეული ნალექებით (დელუვიური (თიხნარი კენჭების ჩანართებით) და ალუვიური ნაფენებით (ხრეშოვანი გრუნტი).



ნახ.2. ადგილები სადაც ჩატარდა ვერტიკალური ელექტრული ზონდირების სამუშაოები.

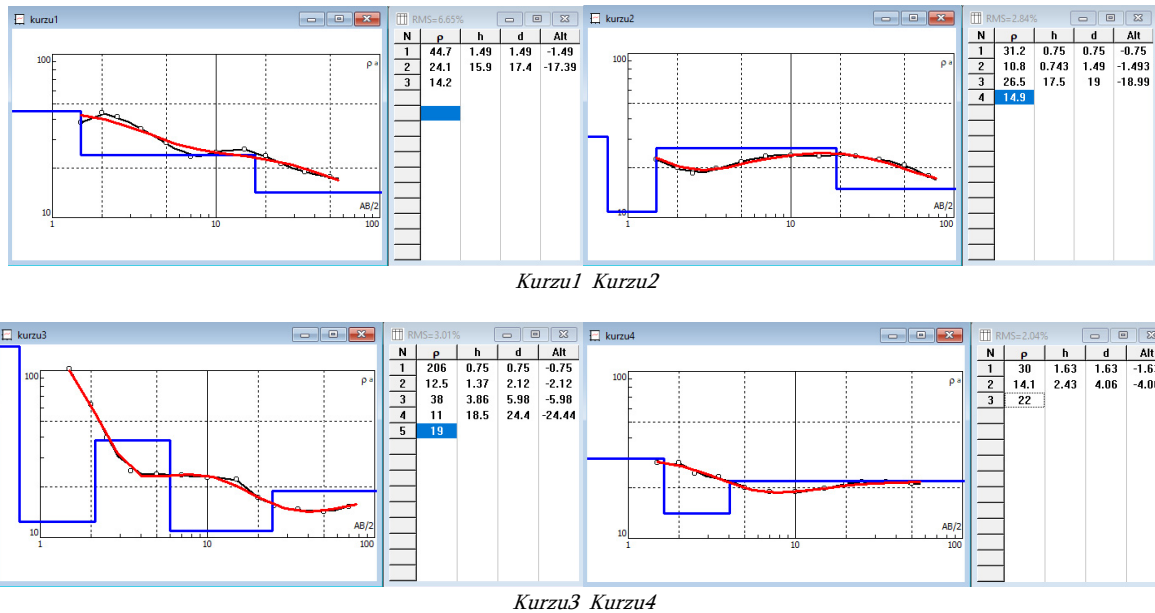
1. გეოფიზიკური კვლევის შედეგები

1.პირველი კვლევა (ნახ.2, Kurzu1) ჩატარდა ეზოში, სახლიდან რამდენიმე მეტრის მოშორებით, ჩავარდნილი გრუნტის გვერდით. მიღებულია HK ტიპის მრუდი (ნახ.3, Kurzu1) . დაახლოებით 1.5 მეტრის სიღრმემდე წარმოდგენილია ნიადაგის და ნაყარი ფენა (წინაღობა 45 ომ.მ). დაახლოებით 1.5 მეტრის სიღრმიდან იწყება სავარაუდოდ მაიკოპის ან კარბონატული თიხები/თიხნარები (წინაღობა 25 ომ.მ). შემდეგ (დაახლოებით 17 მეტრიდან) სავარაუდოდ წარმოდგენილია უფრო დატენიანებული მერგელები ან კარბონატული თიხები (წინაღობა 14 ომ.მ).

2.მეორე კვლევა (ნახ.2, Kurzu2) ჩატარდა ეზოში, სახლიდან რამდენიმე მეტრის მოშორებით, ჩავარდნილი გრუნტის გვერდით, დიამეტრალურად მოპირდაპირე მხარეს, მიღებულია კუთრი ელექტრული წინაღობის K ტიპის მრუდი (ნახ.3, Kurzu2). დაახლოებით 1 მეტრის სიღრმემდე წარმოდგენილია ნიადაგის და ნაყარი ფენა (წინაღობა 30 ომ.მ), რომელიც დაახლოებით 1 მეტრის სიღრმიდან გადადის, სავარაუდოდ ძალზედ თიხის ფენაში (წინაღობა 11 ომ.მ). დაახლოებით 2 მეტრის სიღრმიდან იწყება სავარაუდოდ მერგელები ან კარბონატული თიხები (წინაღობა 26 ომ.მ). შემდეგ (დაახლოებით 17 მეტრიდან) წარმოდგენილია სავარაუდოდ უფრო დატენიანებული თიხები (წინაღობა 14 ომ.მ).

3.მესამე კვლევა (ნახ.2, Kurzu3) ჩატარდა ეზოს განაპირას, წყლების მიერ საკმაოდ ღრმად გამორეცხილ ადგილთან მიღებულია კუთრი ელექტრული წინაღობის K ტიპის მრუდი (ნახ.3, Kurzu3). დაახლოებით 1 მეტრის სიღრმემდე წარმოდგენილია მცენარეული და ბალახოვანი საფარით მჭიდროდ დაფარული ნიადაგის და ნაყარი ფენა (წინაღობა 200 ომ.მ), რომელიც დაახლოებით 1 მეტრის სიღრმიდან გადადის, სავარაუდოდ თიხებში (წინაღობა 12 ომ.მ). დაახლოებით 2-2.5 მეტრის სიღრმიდან იწყება სავარაუდოდ შედარებით ნაკლებად დატენიანებული მაიკოპის ან კარბონატული თიხები/თიხნარები (წინაღობა 38 ომ.მ). შემდეგ (დაახლოებით 6.5-7 მეტრიდან) წარმოდგენილია სავარაუდოდ უფრო დატენიანებული თიხები (წინაღობა 11-19 ომ.მ).

4.მეთოთხე კვლევა (ნახ.2, Kurzu4) ჩატარდა ქუჩაში, სახლის ჭიშკართან ახლოს, მიღებულია კუთრი ელექტრული წინაღობის KH ტიპის მრუდი (ნახ.3, Kurzu4). დაახლოებით 1 მეტრის სიღრმემდე წარმოდგენილია დატენიანებული ნაყარი ფენა (წინაღობა 30 ომ.მ). 2 მეტრის სიღრმიდან ის გადადის დატენიანებულ ქანებში, სავარაუდოდ თიხებში (წინაღობა 14 ომ.მ). შემდეგ (დაახლოებით 4-4.5 მეტრიდან) სავარაუდოდ წარმოდგენილია კარბონატული ან მაიკოპის თიხები/თიხნარები (წინაღობა 22 ომ.მ).



ნახ.3. ვერტიკალური ელექტრული ზონდირების მრუდები, რომლებიც მიღებულია მარტვილის მუნიციპალიტეტის სოფელ კურზუში ერთ-ერთ ნაკვეთში ძაბრისებური ჩაქევის კვლევისას

დასკვნა

ვერტიკალური ელექტრული ზონდირების მეთოდით კვლევა ჩატარდა 4 წერტილში. მკვებავი ელექტროდების მაქსიმალური გაშლები ვარირებდა 50 მეტრიდან 70 მეტრამდე, რაც საშუალებას გვაძლევდა ზონდირება განხორციელებულიყო 25-30 მეტრის სიღრმემდე.

კვლევის შედეგებით შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ ყველა გამოკვლეულ წერტილში ნაყარი და ნიადაგის ფენის შემდეგ (დაახლოებით 1 მეტრის სიღრმიდან) წარმოდგენილია თიხის ფენა, რომელიც ვრცელდება დაახლოებით 2-2.5 მეტრამდე. შემდეგ, დიდი ალბათობით, იწყება მერგელები, კარბონატული თიხები ან სხვა ტიპის თიხნარები, რომლებიც შედარებით ადვილად ექვემდებარებიან გრუნტის წყლით გამორეცხვას. უფრო დიდი სიღრმეებზე, თითქმის ყველა წერტილში, სავარაუდოდ ისევ წყალგაუმტარი თიხებია წარმოდგენილი.

ჩატარებული გეოფიზიკური კვლევების შედეგებზე დაყრდნობით და მისი ანალიზის საფუძველზე შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ მარტვილის მუნიციპალიტეტის სოფელ კურზუში ერთ-ერთ ლოკაციაზე მიმდინარე სახიფათო გეოდინამიკური პროცესი (გრუნტის ძაბრისებური ჩავარდნა) განპირობებულია გრუნტის წყლების მიერ წყალში ხსნადი (დიდი ალბათობით კარბონატული) ქანების გამორეცხვით.

ლიტერატურა

[1] ვარამაშვილი ნ., ჭელიძე თ., დევიძე მ., ჩიხლაძე ვ. გარეშე ფაქტორებით ტრიგერებული მეწყერების ლაბორატორიული და მათემატიკური მოდელირება. სავლე კვლევები. // მიხეილ ნოდისას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, მონოგრაფია, ტ. LXVIII, 2017.

[2] Вертикальное электрическое зондирование. // Практикум курса “Основы геофизических методов” для студентов геологических специальностей, Москва, 2007.

[3] Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей. // Под редакцией проф. В.К. Хмелевского, доц. И.Н. Модина, доц. А.Г. Яковлева, М., 2005.

[4] Andrew Binley, Lee Slater. Resistivity and induced polarization. Theory and Applications to the Near-Surface Earth. // Cambridge university press, UK, 2020.

STUDY OF THE GROUND COLLAPSE (SINKHOLE) USING ELECTROPROSPECTING METHODS

Varamashvili N., Kiria J., Ghlonti N., Dvali L.

*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
ldvarama@gmail.com*

Abstract. Electroresearch methods allow to determine the electrical characteristics of the geological environment (resistance, conductivity, etc.) and based on them to make conclusions about the structure and humidity of the studied area. The materials presented in the paper were obtained based on the research conducted by the method of vertical electrical sensing in the areas of the funnel-shaped subsidence (sinkhole) of the ground. Based on the analysis of the obtained results, conclusions are made about the types of rocks, their depth distribution and hydration. This allows us to draw conclusions about the genesis of soil subsidence, its likely source of nourishment, and its distribution.

Key words: electric prospecting, vertical electric sounding, geodynamic process.

**მარნეულის მუნიციპალიტეტში მზის პანელების განთავსების ტერიტორიაზე ჩატარებული
გეოფიზიკური (ელექტროსაძიებო) კვლევის შედეგები**

თარხან-მოურავი ა., ქირია ჯ., ლლონტი ნ., გიგიბერია მ.

*მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
Kiria51@yahoo.com*

ანოტაცია. სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა მზის პანელების განთავსების ფართობზე (40 ჰა.) გავრცელებული დანალექი ფორმაციებისა და ცალკეული გეოლოგიური წარმონაქმნების საინჟინრო გეოლოგიურ-გეოფიზიკური პირობების შესწავლა 5-10 მ. სიღრმემდე; კერძოდ, ელექტრული მახასიათებლების განსაზღვრა, გეოელექტრული ჭრილის აგება, ძირითადი ქანების სახურავის დადგენა (თუ ასეთი რამ არსებობს საპროექტო სიღრმემდე) და სხვა.

საკვანძო სიტყვები: ელექტროძიება, ელექტრონული ზონდირება.

შესავალი

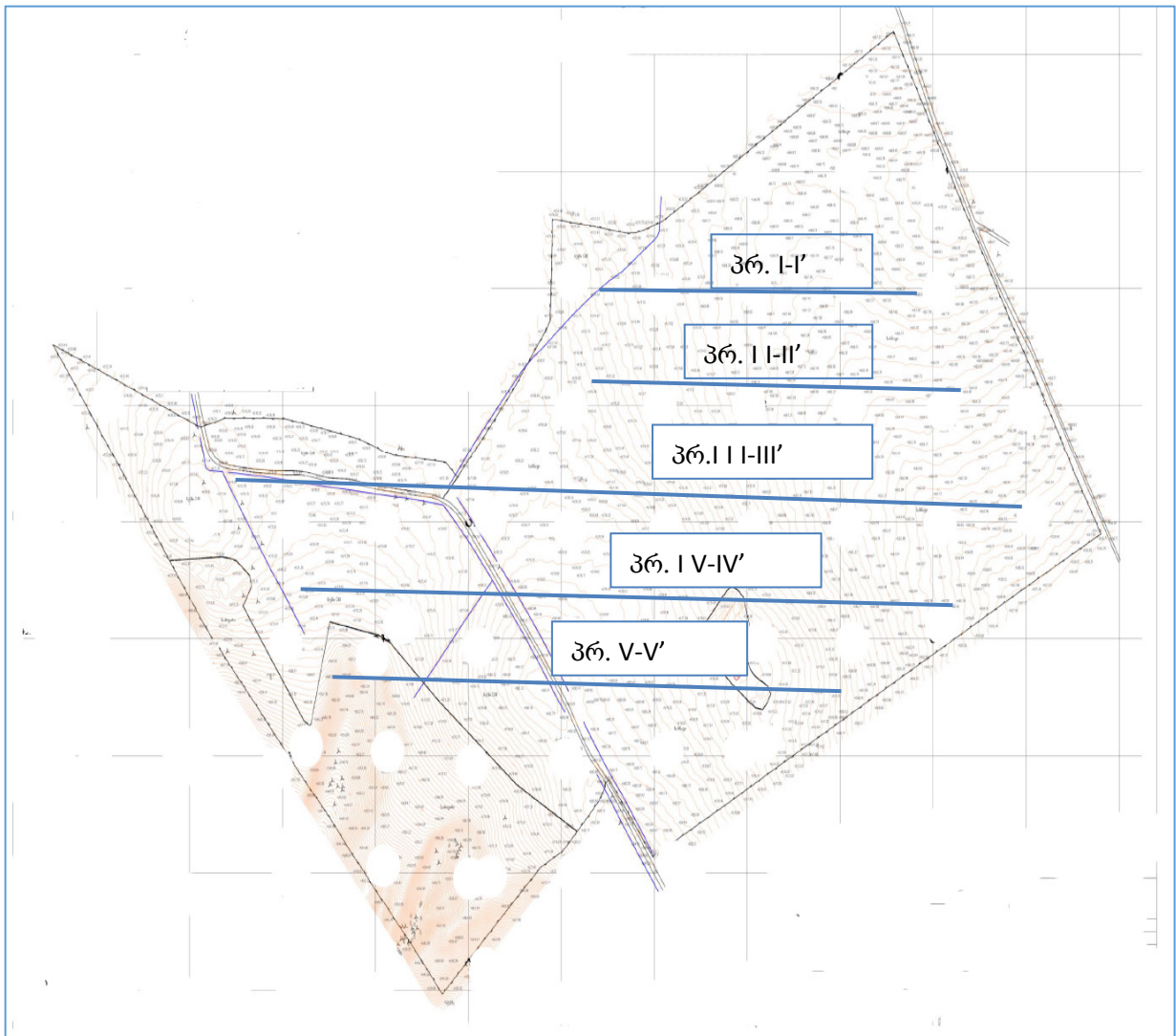
ამ ამოცანების გადასაწყვეტად ჩატარდა ელექტროსაძიებო სამუშაოები მუდმივი დენის ელექტრული ზონდირების (ვეზ) მეთოდით. მეთოდი დაფუძნებულია დღიურ ზედაპირზე ხელოვნურად შექმნილი ელექტრომაგნიტური ველების გამოყენებაზე, რაც საშუალებას იძლევა ქანების ლითოლოგიური დიფერენციაცია განხორციელდეს კუთრი ელექტრული წინაღობის სიღრმეში ცვლილების მიხედვით. კვლევა ჩატარდა შლუმბერჟეს ოთხ ელექტროდიანი სიმეტრიული დანადგარით.

გეოლოგიური დავალების სპეციფიკიდან გამომდინარე ელექტრული ზონდირებისათვის შეირჩა ისეთი გაშლები, რაც საშუალებას იძლეოდა განხორციელებულიყო 10 მ. სიღრმემდე არსებული ქანების დეტალური შესწავლა.

საველე სამუშაოებით მიღებული მონაცემების ინტერპრეტაცია

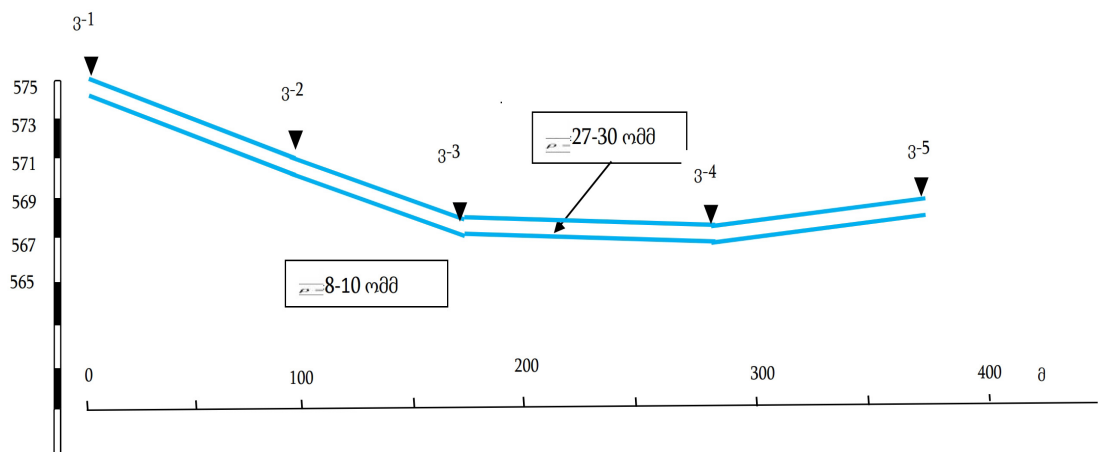
საწყის ეტაპზე ჩატარდა პარამეტრული გაზომვები, რის შემდეგაც შეირჩა ელ. ზონდირების ბიჯი (დაახლოებით 100 მ.). საკვლევ უბანზე გატარებული იქნა ხუთი გეოელექტრული პროფილი, სადაც 34 წერტილში ჩატარდა ელ. ზონდირება. ნახ.1-ზე მოცემულია გეოელექტრული პროფილებისა და ვეზ-ის წერტილების განლაგების სქემა.

მიღებული საველე მასალის - მოჩვენებითი კუთრი ელექტრული წინაღობის რიცხვითი მნიშვნელობების ანალიზის საფუძველზე თითოეული ელ. ზონდირების წერტილისათვის აგებულია ამ წინაღობის სიღრმის მიხედვით ცვლილების მრუდები, რომელთა გეოლოგიური გაშიფრვა განხორციელდა მ. პილაევის თეორიული პალეტებისა და სპეციალური სერტიფიცირებული კომპიუტერული პროგრამის IPI2WIN გამოყენებით და ასევე შურფების მონაცემების გათვალისწინებით. რამაც განსხვავებული კუთრი ელექტრული წინაღობის ფენების გეოფიზიკური ინტერპრეტაციის საშუალება მოგვცა, რის საფუძველზეც აიგო შესაბამისი გეოელექტრული ჭრილები. იხილეთ ნახ. 2, 3, 4, 5, 6.



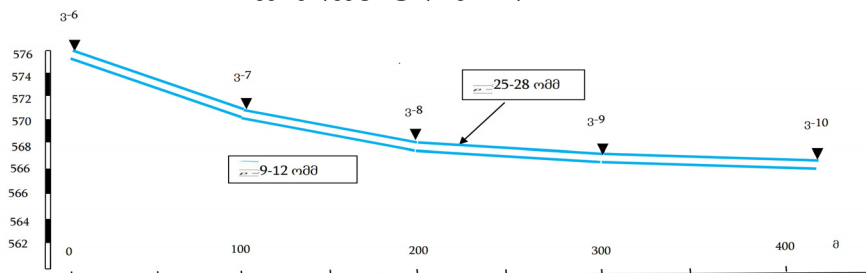
ნახ. 1.

გეოელექტრული ჭრილი I-I'



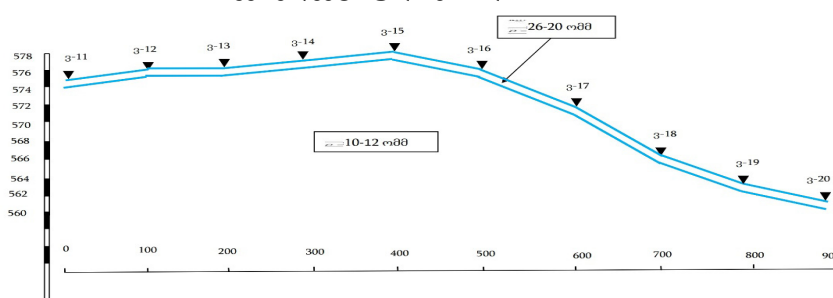
ნახ. 2.

გეოელექტრული ჭრილი II - II'



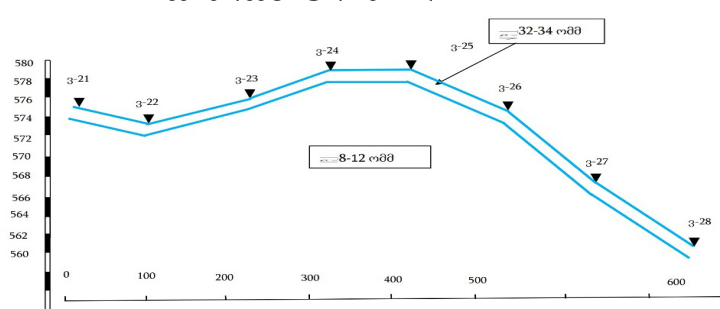
ნახ. 3.

გეოელექტრული ჭრილი III - III'



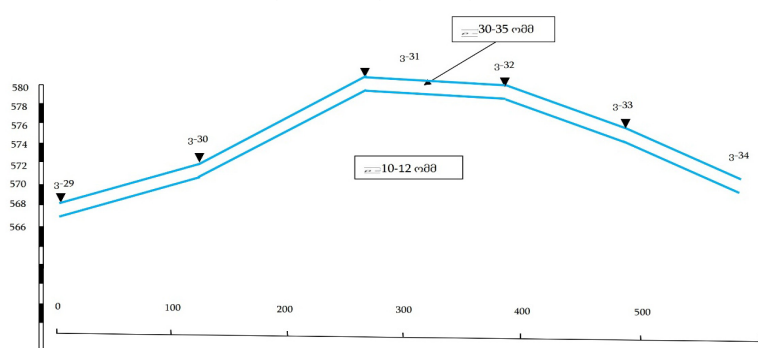
ნახ. 4.

გეოელექტრული ჭრილი IV - IV'



ნახ. 5.

გეოელექტრული ჭრილი V - V'



ნახ. 6.

საკვლევი ფართობის გეოლოგიურ-გეოფიზიკური მდგომარეობა საპროექტო სიმძლავრემდე მარტივია. გარემო ორფენოვანია, აგებულია მეოთხეული ასაკის თიხა-თიხნარით, რომელიც გადაფარულია მცირე სიმძლავრის (0.5-0.7 მ.) ნიადაგის ფენით. ელექტრომიების მონაცემებით თიხა-თიხნარი კუთრი

ელ. წინაღობით $\rho = 10-13$ ომ.მ. მკვეთრად გამოიყოფა ნიადაგის ფენისგან - კუთრი ელ. წინაღობა $\rho = 25-34$ ომ.მ. აღნიშნული ფენა ვრცელდება 7-8 მ. ქვევით და მისი საგები ზონდირების გეომეტრიიდან გამომდინარე არ გამოიყოფა.

დასკვნა

1. ელექტროდიების (ვერტიკალური ელექტრული ზონდირება) მეთოდი ეფექტურია დასმული ამოცანების გადასაწყვეტად. კერძოდ, მზის პანელების ლოკაციაზე გავრცელებული პლეისტოცენის ასაკის ნალექები - თიხა-თიხნარი და ნიადაგის ფენა კარგად გამოიყოფა ერთმანეთისგან.

2. დაკვირვების ყველა წერტილში გამოყოფილი ფენების ელექტრული მახასიათებლები მცირედ განსხვავებულია ერთმანეთისგან. ეს ერთის მხრივ მიუთითებს ქანების ერთგვაროვნებაზე და მეორეს მხრივ ჩატარებული კვლევების ობიექტურობაზე.

3. გეოფიზიკური კვლევების (ელექტროდიება და სეისმომეტრია) შედეგები ერთმანეთთან კარგ თანხვედრაშია.

ლიტერატურა

[1] Media T. Hammer refraction seismic in engineering geophysics. // "Geophysics", v.34, № 3, 1969, pp. 383-395.

[2] Savich A.I., Kuyndjich B.D. Complex-engineering research in building hydraulic facilities, 1990.

THE RESULTS OF THE GEOPHYSICAL (ELECTRICAL PROSPECTING) SURVEY CONDUCTED IN THE AREA OF SOLAR PANELS PLACEMENT IN MARNEULI MUNICIPALITY

Tarkhan-Mouravi A., Kiria J., Ghlonti N., Gigiberia M.

Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia Kiria51@yahoo.com

Abstract. The purpose of the work was to study the engineering geological-geophysical conditions of the sedimentary formations and separate geological formations spread over the area of solar panels placement (40 ha.) 5-10 m. The electrical characteristics of the separated layers at all points of observation are slightly different from each other. This indicates, on the one hand, the homogeneity of the rocks and, on the other hand, the objectivity of the conducted studies.

Key words: electronic search, electronic sensing.

მთის მყინვარების დისტანციური ზონდირების ზოგიერთი თანამედროვე მეთოდი

ჩიხლაძე ვ., ვარამაშვილი ნ.

მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
vicachikh@gmail.com

ანოტაცია. ნაშრომში წარმოდგენილია მთის მყინვარების დისტანციური ზონდირების თანამედროვე მეთოდების მოკლე მიმოხილვა. განხილულია ზოგიერთი მათგანის გამოყენების პერსპექტივები საქართველოში მყინვარების კოლაფსის ადრეული გაფრთხილებისთვის.

საკვანძო სიტყვები: მყინვარები, ელექტრომაგნიტური გამოსხივება, დისტანციური ზონდირება, ადრეული გაფრთხილება.

შესავალი

ამჟამად საქართველოში სხვადასხვა მონაცემებით 600 – 637 მყინვარია საერთო ფართობით 340 – 520 კმ² (<https://delicatours.ge/ledniki-gruzii-1>; <https://www.bbc.com/russian/articles/c9ejkg4dg91o>). ყველაზე მოცულობითი მათგან განლაგებულია სვანეთში (მყინვარები ლარდადი-ადიში, შხარა, უშბა, ჩალაადი, თვიბერი, წანერი, ლაილა და სხვა), ხევში (დევდორაკის და გერგეთის მყინვარები), ხევსურეთში (მყინვარი ჭაუხი) და რაჭის რეგიონში. მათ შესახებ ინფორმაცია ბატონ ვახუშტი ბაგრატიონის დროიდან იყო ცნობილი. მათ კვლევებში ისეთმა გამოჩენილმა მეცნიერებმა მიიღეს მონაწილეობა, როგორც დ. წერეთელი, ა.ასლანიკაშვილი, ვ.ცომია, რ.გობეჯიშვილი, ლ. ტიელიძე და სხვებია. ანალოგიური კვლევები ტარდება აგრეთვე კავკასიონის ქედის ჩრდილოეთის მხრიდანაც. ნაღიკის მაღალმთიანი გეოფიზიკური ინსტიტუტის მეცნიერების ნაშრომში [1] მოყვანილია მონაცემები კლიმატის ცვლილების შესახებ ცენტრალური კავკასიონის მაღალმთიან ზონაში ტერსკოლის მეტეოსადგურის 1961 – 2020 წლების მონაცემების საფუძველზე და აგრეთვე 1957 – 2020 წლების პერიოდისთვის ძირითადი ხეობების მყინვარების დეგრადაციის შესახებ.

1961-2020 წლების პერიოდისათვის ზაფხულის ტემპერატურის ზრდის სიჩქარემ ტერსკოლში 0.31°C ათწლეულში და ტებერდაში 0.41°C ათწლეულში შეადგინა. ამ საუკუნის დასაწყისიდან საკვლევი რაიონის თერმული რეჟიმის ცვლილება ზამთრის, გაზაფხულის და ზაფხულის საშუალო ტემპერატურების მნიშვნელოვანი ზრდის და ზამთრის ჯამური ნალექების უმნიშვნელო შემცირების ხარჯზე ხდებოდა. ბოლო ათწლეულებში მყინვარების ფართობების შემცირება კავკასიონის მთებში თერმული რეჟიმის ცვლილების ფონზე ხდებოდა, რომელიც, სავარაუდოდ, ძირითადი მდგენელია მრავალი მოქმედი ფაქტორიდან. შემცირებული მყინვარების გეომეტრიული ზომების და ფართობების გაზომვები ტარდებოდა მე-XX საუკუნის შუა წლებში გადაღებული აეროფოტოსურათებით და 2015-2020 წლების Sentinel-2 კოსმოსური სურათებით. საშუალოდ ხეობების მყინვარების ფართობები შემცირდა 12.2%-თ (1-2 -დან 40%-დე). ოპტიკური სისტემების მეშვეობით მყინვარების დისტანციურ ზონდირების დროს გასათვალისწინებელია აგრეთვე ახალი ავტომატური მეთოდის [2] გამოყენება, რომელიც მყინვარების კარტოგრაფირებისას საშუალებას იძლევა მსხვრეების არსებობით გამოწვეული შეცდომების სწრაფ შესწორებას და შესაძლებელია გაცილებით უფრო სწრაფად მოხდეს მყინვარების ზედაპირების ავტომატური კარტირება. ანალოგიური (მყინვარების დნობის) პროცესები, შესაძლოა უფრო მაღალი ტემპებით მიმდინარეობს აგრეთვე კავკასიონის ქედის სამხრეთ მხრიდანაც. მყინვარების და მათი შემადგენელი ნაწილების გეომეტრიული მახასიათებლების მონიტორინგის ინტერესს წარმოადგენს ყინულის სისქის გაზომვა, ყინულის მოცულობის შეფასება და აგრეთვე მყინვარის ყინულის შიდა სტრუქტურის შესწავლა.

მიწისზედა, საჰაერო და კოსმოსური ბაზირების ზონდირების დისტანციური საშუალებების გამოყენება შესაძლებლობას გვაძლევს ოპერატიულად თვალი ვადევნოთ ყინულოვანი წარმონაქმნების ცვლილებებს როგორც მიწის ზედაპირზე, ასევე მის სისქეშიც. ამისათვის იყენებენ გამოსხივებას ტალღის სიგრძეების დიდ დიაპაზონში აკუსტიკური და ელექტრომაგნიტური პრინციპზე მომუშავე ხელსაწყოებს.

ამჟამად ფართოდ გამოიყენება კრიოსფერული წარმონაქმნების კვლევის მრავალფეროვანი დისტანციური მეთოდები სხვადასხვა დიაპაზონებში: ხილულში [3], ინფრაწითელში [4], რადიო- [5] და მიკროტალღურში [6, 7, 8]. მთიან ადგილებში გეოლოგიურ საშიშროებების შესახებ ადრეული გაფრთხილების სისტემების და რისკების შეფასების კომპლექსური მეთოდების მიმოხილვა მოცემულია ნაშრომში [9] და შეიცავს გეოლოგიური საშიშროებების შესწავლას, როგორცაა მეწყერები, ჩამონგრევები, ღვარცოფული ნაკადები დისტანციური მეთოდების გამოყენებით (მაგალითად InSAR, ოპტიკური დისტანციური ზონდირება ან კარტირება უპილოტო საფრენი აპარატების მეშვეობით), ადგილზე საინჟინრო-გეოლოგიურ გამოკვლევებს ან მოწყობილობებს რეალურ დროში მონიტორინგისთვის.

ლენინგრადის ჰიდრომეტეოროლოგიური ინსტიტუტის მკვლევართა ჯგუფმა [10, 11] აღმოაჩინა, რომ წყლის კრისტალიზაციის დროს გარკვეულ პირობებში მაღალი ელექტრული პოტენციალის (10^2 ვოლტის რიგისა) გაჩენა და ფაზების გაყოფის საზღვარზე თხელ გადასასვლელ ფენაში სტატიკური დიელექტრული შეღწევადობის მკვეთრი ზრდა ($10^3 - 10^4$ ჯერ) დაიკვირვება.

სავარაუდოდ წარმოსადგენია, რომ წყლის ფაზურ საზღვრებზე ყველა დინამიურ სტრუქტურული პროცესებს თან ახლავს ელექტრული მოვლენები, რომლებიც იწვევენ ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას ამა თუ იმ დიაპაზონში, თუ საკმარისად დიდია პროცესის მიმდინარეობის სიჩქარე ან დინამიური დატვირთვის სიდიდე. იმ გარემოების გათვალისწინებით, რომ გენერირებული გამოსხივების სიმძლავრე ზოგადად ნივთიერების მასის და დინამიური დატვირთვის სიდიდის პროპორციულია, მთის პირობებში (სადაც დაიკვირვებოდა მყინვარების დასკდომა და მეწყერები, თოვლის ზვავების ჩამოსვლა და ა.შ.), იყო ჩატარებული სავსე კვლევები სხვადასხვა ბუნებრივად და ხელოვნურად გამოწვეული დინამიური პროცესების დროს, ყინულის რადიოგამოსხივების კვლევა. იყო დარეგისტრირებული ელექტრომაგნიტური და სეისმური სიგნალები 0,1-30 ჰც სიხშირის უბანში. ელექტრომაგნიტური სიგნალები წინ უსწრებდა სეისმურ სიგნალს და იყო გამოწვეული, როგორც ჩანს, მყინვარის შეკუმშვით და შემდგომი წანაცვლებით. ამ გარემოებამ მისცა ავტორებს [12] საშუალება ჩაეთვალიათ დადგენილად ადრე უცნობი მოვლენა ბუნებრივი დინამიური პროცესების დროს თოვლის და ყინულის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების მოვლენა, რომელიც შესაძლოა იყოს გამოყენებული ზვავებსა და მყინვარებზე დისტანციური დაკვირვების დროს. ამ მოვლენის ერთერთი თანავტორი ვ. პსალომშიკოვი გახდა შემდგომ ზვავების ჩამოსვლის და აგრეთვე მთის მყინვარების წანაცვლების მოკლევადიანი პროგნოზის შემქმნელი [13]. თოვლ-ყინულოვანი კატასტროფების. მათი რადიოგამოსხივებით მოკლევადიანი პროგნოზის მეთოდის არსი მარტივია - ყველა დიელექტრიკული მასალა, რომლებსაც მიეკუთვნება აგრეთვე თოვლიც, ყინულიც და მთის ქანებიც, პლასტიკური დეფორმაციის, და აგრეთვე შემდგომი ნგრევის (დაშლის) დროს, შუქის, აკუსტიკური სიგნალების და რადიოდიაპაზონში ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ემისიის წყაროებია. ზვავი, რომელიც ჩამოსასვლელად ემზადება ან მყინვარე, რომელიც მოცოცავს, ასხივებენ აკუსტიკურ სიგნალს სპექტრის საკმაოდ განიერ დიაპაზონში - ინფრაბგერებიდან ულტრაბგერებამდე. აშშ-სა და შვეიცარიაში ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა აჩვენეს, რომ აკუსტიკური ემისია მკვეთრად მატულობს რამოდენიმე საათით ან დღეღამით ადრე თოვლის ზვავის ჩამოსვლამდე ან მყინვარის წანაცვლებამდე. ასე მაგალითად, შვეიცარიაში, მთა ეიგერზე დაკვირვებული მყინვარიდან მოწყვეტილი ყინულის დიდი მასის ჩამოშლა ($\approx 10\ 000$ მ³) იყო დარეგისტრირებული მონიტორინგის ინფრაბგერითი სისტემის დახმარებით [14], რითაც მიეცათ საშუალება შეეფასებინათ ჩამოვარდნილი ყინულის მასის მოცულობა, ტრაექტორია და სიჩქარე.

დაკვირვებებმა ინფრაბგერით გამოსხივებაზე შესაძლოა წარმოგვიდგინონ მყინვარების ჩამოშლის და ყინულოვანი ზვავების მოცულობის შესახებ რაოდენობრივი ინფორმაცია, რითიც გვეხსნება ახალი პერსპექტივები ზვავსაშიში მყინვარების მონიტორინგსა და მათი ჩამოშლის მოვლენების გაფრთხილებების შესახებ.

მიმართული რადიოანტენები საშუალებას გვაძლევს საკმაოდ უსაფრთხო მანძილიდან რამოდენიმე კილომეტრის ფარგლებში დავაფიქსიროთ სიგნალის წყარო, ხოლო მათი გაჩენის დროითი წინსწრება,

შეფასებების თანახმად, რამდენიმე საათს შეადგენს, ამასთანავე ჩამოსვლამდე რამდენიმე წუთით ადრე სიგნალი მკვეთრად ძლიერდება.

ამ აღმოჩენის ერთ-ერთი გამოყენებაა ჩრდილოეთში გემების ყინულებში გაყვანისას თვითმფრინავიდან დისტანციური ზონდირებით ბზარების და სუფთა წყლის არეების მოძებნა [15]. ყინული მრავალ უნიკალურ ფიზიკურ თვისებებს ფლობს. მას გააჩნია თორმეტი სტრუქტურული მოდიფიკაცია, რომლებიც წნევის და ტემპერატურის ცვლილებისას პოლიმორფული გარდაქმნების ხარჯზე გარდაქმნიებიან. ზოგიერთი მოვლენები, რომლებიც დაკავშირებულია ყინულის დინამიკასთან და ყინულის ფაზის მონაწილეობით ფაზური გარდაქმნების მიმდინარეობისას, იწვევენ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გენერირებას სიხშირეების ფართო დიაპაზონში. მყინვარების და თოვლის ზედაპირების ჩამოსვლა, ყინულში ბზარების გავრცელება იწვევს საშუალო სიხშირეების დიაპაზონში რადიოგამოსხივებას. გარსია-ფერნარდესმა, ლ. კაჩურინმა, ბ.ბერიმ, გუდზენკომ და სხვებმა აღმოაჩინეს და გამოიკვლიეს წყლის, წყლის ხსნარების და ზოგიერთი სხვა ნივთიერების კრისტალიზაციისას იმპულსური რადიოგამოსხივება დაახლოებით 10^4 - 10^6 ჰც-ის სიხშირეების ზოლში. ამ ნამუშევრების ავტორები რადიოგამოსხივების იმპულსებს აკავშირებდნენ ძირითადად იმ აირის განმუხტვების პროცესებთან, რომელიც ხდება ბზარების ნაპირებს შორის, რომლებიც, როგორც ვარაუდობდნენ, კრისტალიზაციის ფრონტის მახლობლად მყარ ფაზაში ჩნდებიან. ნამუშევარ [16]-ში მოყვანილია ყინულის არაწონასწორულ ზრდის პირობებში ყინული-წყლის სისტემაში საკუთარი ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გამოკვლევა და მისი პარამეტრების კავშირი კრისტალიზაციის პროცესის სტრუქტურულ-კინეტიკურ მახასიათებლებთან. არასტაციონარული ელექტრული ველის პოტენციალი (ელექტრომაგნიტური ემისიის სიგნალი) წყლის მაკრისტალიზებელი სინჯის მახლობლად ბრტყელი ზონდის, ფართოზოლიანი (გატარების ზოლი - 10^1 — 10^7 ჰც) გამამდიერებლის, ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელის და კომპიუტერის მეშვეობით იზომებოდა. რიგ შემთხვევაში გამოიყენებოდა თვითმწერი და ოსცილოგრაფი.

ელექტრომაგნიტური ემისიის ყველა დარეგისტრირებული სიგნალი შეიძლება ორ დამახასიათებელ ჯგუფად გავყოთ: I ტიპის სიგნალები - 10^1 — 10^2 ჰც სიხშირეების ზოლში და II ტიპის სიგნალები - 10^3 — 10^6 ჰც სიხშირეების ზოლში. აღმოჩნდა, რომ I ტიპის სიგნალები დაკავშირებულია უშუალოდ ყინულის მარცვლების ფორმირებასთან, მათ შეეჯახებთან, გვერდითი განშტოებების შექმნასთან და ა.შ. და მოცემულ სიტუურ პირობებში კრისტალიზაციის დინამიკის არასტაციონარულ ხასიათს ასახავენ, მაშინ როდესაც II ტიპის იმპულსები გამოწვეულია მეორადი პროცესებით, რომლებიც თან ახლავს კრისტალიზაციის პროცესს - მზარდი ბზარების განვითარება, ხახუნი, კიუვეტის კედლებიდან მოშორება და ა.შ. ამიტომ ელექტრომაგნიტური ემისიის სიგნალების კრისტალიზაციის კინეტიკასთან და რომელიმე მეორად პროცესებთან (ბზარების განვითარება, ჩამონატეხი და ა.შ.) დადგენილ კორელაციებს, სავარაუდოდ, აქვთ უნივერსალური ხასიათი და შესაძლოა გახდეს საფუძველი ახალი ელექტრომაგნიტური მეთოდების დამუშავებისას: ა) კრისტალიზაციის მორფოლოგიურად არამდგრადი ფრონტის დისტანციური კვლევა; ბ) დიელექტრიკის კრისტალის ზრდის უკონტაქტო კონტროლი და მზარდი ბზარების გამოვლენა; გ) იმ გეოფიზიკური ობიექტების უწყვეტი მონიტორინგი, რომლებიც ყინულის და თოვლის დიდ მასას შეიცავენ და კატასტროფული მოწყვეტის უნარი გააჩნიათ (მყინვარები, თოვლის ზედაპირი და ა.შ.).

მყინვარების შიდა სტრუქტურის, ქვეფენილი ზედაპირის, ტბების და ა.შ. შესასწავლად იყენებენ სხვადასხვა ტიპის გეორადარს, ანუ გეორადიოლოკაციურ ზონდირებას (GPR). გეორადარის საშუალებით წარმოებს მყინვარების ზედაპირიდან, რამდენიმე მეტრიდან რამდენიმე კილომეტრის სიღრმის ქვეზედაპირის გამოკვლევა.

მყინვარების დინამიკის შესასწავლად და მათი ამჟამინდელი მდგომარეობის ინვენტარიზაციისთვის თანამგზავრებიდან Quick Bird, Pleiades, Landsat 4, 5, 7, 8 მიღებულ ინფორმაციას იყენებენ.

გეორადარული პროფილირება [17] ჩატარებული ოკო-2 ტიპის გეორადარით „ტრიტონ“-ის ტიპის ანტენის ბლოკით (ცენტრალური სიხშირე 100 მჰც) დიელექტრიკული შეღწევადობით 3,2 და არეკლილი ტალღის მოლოდინის დისტანციით 120 მ. ნავიგაციური ინფორმაცია Garmin GPSmap-76Csx და GPSmap-64st ტიპის პორტატული GPS - მიმღებებიდან გროვდებოდა. ამის შედეგად იყო აგებული ფირნის ზედაპირი, მყინვარის ყინულოვანი კალაპოტი, ფსკერის მორენების კალაპოტი და კალაპოტი ძირეული ქანების საზღვარზე. ნამუშევარში [18] მოყვანილია რადიოლოკატორის აღწერილობა და 300 მეტრამდე სისქის ცივი,

სუბპოლარული და თბილი მყინვარების მონოიმპულსური ზონდირების მეთოდი. ქვეზედაპირის (ზედაპირქვეშა) რადიოზონდირების მეთოდები ფართოდ გამოიყენება მყინვარების შიდა აგებულების და ელექტროფიზიკური პარამეტრების შესასწავლად და აგრეთვე სისქის, კალაპოტის რელიეფის და სხვა მახასიათებლების დასადგენად.

მიწისზედა ტრანსპორტიდან 300 მეტრამდე და მეტი სისქის სუბპოლარული თბილი და ცივი მყინვარების ზონდირებისათვის შეიქმნა და დამზადდა დაბალსიხშირული ვიდეოიმპულსური რადიოლოკატორი (ВИРЛ) რადიოლოკაციური და ნავიგაციური მონაცემების ციფრული რეგისტრაციით. რადიოლოკატორი ВИРЛ შედგება შემდეგი ნაწილებისგან: გადამცემი, მიმღები, გადამცემი და მიმღები ანტენები, სინქრონიზაციის სისტემები, ციფრული რეგისტრაციის და ინდიკაციის სისტემები და აგრეთვე გარე მოწყობილობები - GPS-მიმღები, ოდომეტრი (მანძილის გამზომი ტრასით) და კვების წყარო. სინქრონიზაციის სისტემად გამოყენებულია რადიოარხი და ოპტიკურ-ბოჭკოვანი არხი. რადაროგრამებზე მკაფიოდ გამოიყოფა ანარეკლები კალაპოტიდან, რომლებიც შემდგომში ყინულის სისქის რუკების და ჭრილების ასაგებად გამოიყენება.

პოლარული აკვატორიების გემის ბორტიდან ან საფრენ აპარატიდან დისტანციური ზონდირებისათვის ზოგადი ფიზიკის ინსტიტუტში შექმნილია კომპაქტური რადარი [19]. სისტემა კომპაქტურია (40×30×20 სმ), აქვს მცირე წონა (20 კგ), დაბალი ენერგომომხმარება (200 W) და შეუძლია ერთდროულად რამდენიმე პარამეტრის გაზომვა: წყლის ტემპერატურა, ორგანული ნივთიერებების და ქლოროფილის კონცენტრაციის სივრცითი განაწილება, აგრეთვე წყლის ქიმიური ნივთიერებებით და მასში გახსნილი აირებით დაბინძურება, შელფური ყინულის თოვლის საფარის ხაოიანობის ხარისხის დადგენა, თოვლის საფარის ოპტიკური და თერმოდინამიკური თვისებები და ა.შ.

განვიხილოთ პლასტიკური დეფორმაციის დროს ყინულოვანი სტრუქტურების მდგომარეობის რადიოლოკაციური რეგისტრაციის თავისებურებანი [20]. ისინი დაფუძნებულია გაბნეული მიკროტალღოვანი გამოსხივების ინტენსიობის მომატების განსაზღვრაზე, განსაკუთრებით 13 – 14 გჰც სიხშირის სპექტრულ ინტერვალში. ეფექტი განისაზღვრება პლასტიკური დინების ავტოტალღების სიგრძით, ერთი სანტიმეტრის რიგის სახასიათო მნიშვნელობით. ავტოტალღები ქმნიან ყინულში ქაოტურად განაწილებულ, მქანკური დამაბულობის მოქმედებით დროში ცვალებად დიფრაქციული ბადეების ნაკრებებს.

ყინულის საფარის რადარული კოსმოსურათების ანალიზის დროს იყო აღმოჩენილი უკუგაბნევის კოეფიციენტის მომატებული მნიშვნელობა. პლასტიკური დინების ავტოტალღების გამოძვანების ეფექტს ყინულის საფარის თერმოდინამიკური ტემპერატურის ძლიერ დღეღამურ ცვლილებებს უკავშირებენ. შემოთავაზებულია დინების ტალღების რადარული რეგისტრაციის მეთოდის გამოყენება როგორც წინამორბედი, პულსირებადი მყინვარების ჩამოსვლისას, ვინაიდან შედარებითი გაზომვებისას ობიექტიდან გაბნეული გამოსხივება გაძლიერდება. ამ კვლევის მიზანია ყინულის დიდი მასების კრიტიკული მდგომარეობის ოპერატიული გამოვლენის მეთოდის შემოთავაზება და აგრეთვე მათი მსხვრევის პროგნოზირება. თანამგზავრული რადიოლოკაციის დახმარებით შესაძლოა პლასტიკური დინების ავტოტალღების გამოვლენით პულსირებადი მყინვარების ჩამოსვლის სავარაუდო ადგილების მიგნება. დედამიწის ზედაპირის რეგულარული რადარული გაზომვების ჩატარებისას შესაძლოა აღმოვაჩინოთ ყინულის სტრუქტურების დაშლის (ჩამოშლის) წინამორბედები, მაგალითად მყინვარების ჩამოშლა გამოსხივების გაბნევის გაძლიერებით.

მყინვარების ზონდირების დისტანციური მეთოდების ამ მოკლე მიმოხილვის დასკვნით ნაწილში ჩვენი ვარაუდით, იმისათვის, რომ მომავალში თავიდან ავიცილოთ ისეთი ბუნებრივი კატასტროფები, როგორც შოვსა და დევდორაკის ხეობაში [21], სადაც ყაზხეგის ვულკანული ცენტრის ქსელმა 2014 წლის 17 მაისს დააფიქსირა ყინულის და ქვების მასის ჩამოშლა დევდორაკის მყინვარის რაიონში და წარმომოხილი ქვა-ყინულის ზვავის მოძრაობა [22], ხოლო ავტორებმა [23], Landsat, ASTER, SENTINEL, PLIADES -ით მიღებული თანამგზავრული და აეროფოტოგადაღების სურათების გამოყენებით და სითბური გამოსხივების და გლობალური ციფრული მოდელის გაუმჯობესებული გარჩევადობით 30 მ (ASTER GDEM; 2011წ. 17 ნოემბერი) კოსმოსური რადიომეტრის დახმარებით შეძლეს ამ მოვლენის რეკონსტრუქცია, საჭიროა შეიქმნას ადრეული შეტყობინების ისეთი სისტემები, რომლებიც ადამიანებს დროის მარაგს მისცემენ თავის გადასარჩენად. ცხადია, რომ უპირატესობა უნდა მიენიჭოს ზვავების ჩამოსვლის და მთის

მყინვარების წანაცვლების პროგნოზირების მოკლევადიან მეთოდებს [13], და რაც უფრო პერსპექტიულია - პლასტიკური დეფორმაციის დროს ყინულის სტრუქტურების მდგომარეობის თანამგზავრებიდან რადიო-ლოკაციურ რეგისტრაციას [20].

ლიტერატურა

- [1] Bekkiev M., Dokukin M., Kalov R., Tashilov A. Modern degradation of valley glaciers of the Central Caucasus. // *Fundamental and Applied Climatology*, 7(3), 2021, pp. 113–141. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2021-3-113-141> (in Russian)
- [2] Holobacă I-H, Tielidze L., Ivan K., Elizbarashvili M, Alexe M., Germain D., Petrescu S.H., Pop O.T., Gaprindashvili G. Multi-sensor remote sensing to map glacier debris cover in the Greater Caucasus, Georgia. // *Journal of Glaciology* 67(264), 2021, pp. 685–696. <https://doi.org/10.1017/jog.2021.47>
- [3] Kotlyakov V., Desinov L., Desinov S., Rudakov V. Movements of Pamir glaciers in 2020 // *Ice and Snow*, t. 61. No. 3., 2021, pp. 471–480 DOI: 10.31857/S2076673421030102. (In Russian)
- [4] Lo Vecchio A., Lannutti E., Lenzano M., Mikkan R., Vacafior P., Lenzano L. MODIS Image-derived ice surface temperature assessment in the Southern Patagonian Ice field. // *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, v. 43. Iss. 6., 2019, pp. 754–776. DOI: 10.1177/0309133319851022.
- [5] Macheret Yu., Glazovsky A., Lavrentyev I., Marchuk I. Distribution of cold and warm ice in glaciers on Nordenskiöld Land (Spitsbergen) according to ground-based radio sounding data. // *Ice and Snow*, t 59. No. 2, 2019, pp. 149–166. DOI: 10.15356/20766734-2019-2-430. (In Russian)
- [6] Bordonsky G., Gurulev A., Krylov S., Orlov A., Tsyrenzhapov S. Determination of areas of bottom gas separation in water areas with fresh ice according to radar and radiometric measurements. // *Modern problems of remote Sensing the Earth from Space*, Vol. 13, No. 3, 2016, pp. 150–161. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-150-161, (In Russian);
- [7] Tikhonov V., Raev M., Sharkov E., Boyarsky D., Repina I., Komarova N. Monitoring sea ice in polar regions using satellite microwave radiometry // *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, Vol. 12, No. 5, 2015, pp. 150–169 (In Russian);
- [8] Shokr M., Sinha N. *Sea Ice: Physics and Remote Sensing*. // USA: John Wiley and Sons; American Geophysical Union, 2015, 600 p. DOI: 10.1002/9781119028000
- [9] Zhu C., Xu Y., Tao Z., Zhu H.-H., Cao C., He M. Overview of Comprehensive Risk Assessment Methods and Hazards Early Warning System for Geological Hazards in the Mountain Area. // *Remote Sens.* 15, 2023, 2239. <https://doi.org/10.3390/rs15092239>
- [10] Kachurin L., Bekryaev V., Psalomshchikov V., DAN, vol. 174, No. 5, 1967, 1122, (In Russian)
- [11] Kachurin L., Grigorov N. // *ZhFKh*, vol. 51, No. 11, 1977, 2864, (In Russian)
- [12] Kachurin L., Grigorov N., Kuzin Yu., Psalomshchikov V., Stepanyuk I. Electromagnetic radiation of snow and ice during dynamic processes. // *Dokl. USSR Academy of Sciences*, vol. 248, numb. 3, 1979, pp. 583–585. UDC 551.322 GEOPHYSICS (in Russian)
- [13] Yablokov M. Avalanches give a signal. // <https://ours-nature.ru/b/book/17/page/5-lavini/159-lavini-podayut-signal> (in Russian)
- [14] Marchetti E., Walter F., Meier L. Broadband infrasound signal of a collapsing hanging glacier. // *Geophysical Research Letters*, 48, 2021, e2021GL093579. <https://doi.org/10.1029/2021GL093579>
- [15] Stepanyuk I., Smirnov V. Methods 2001 for measuring the characteristics of the dynamics of the canopy cover. // *Saint Petersburg, Gidrometeoizdat*, (in Russian)
- [16] Shibkov A., Zheltov M., Korolev A. Growing ice is a source of electromagnetic radiation. // *Bulletin of TSU*, vol. 6, iss. 2, UDC 539.37:537.221, 2001, (in Russian).
- [17] Kitov A., Denisenko I., Lunina O., Gladkov A., Plyusnin V., Ivanov E. Remote and georadar research of the Radde glacier of the Munku-Sardyk ridge (Eastern Sayan). // *Geoinformation support for sustainable development of territories: Materials of the International. conf. M.: Moscow University Publishing House*, t. 21, part 1, 2015, pp. 318–332, (in Russian)
- [18] Berikashvili V., Vasilenko E., Macheret Yu., Sokolov V. Monopulse radar for glacier sounding with an optical synchronization channel and digital signal processing. // *Journal of Radio Electronics*, No. 4, 2004, (in Russian)
- [19] Bunkin A., Klinkov V., Lednev V., Pershin S., Yulmetov R. Remote sensing of polar waters with a compact lidar: Achievements and prospects. // *RAS Proceedings of the Institute of General Physics named after. A.M. Prokhorova* Vol. 69. 2013, pp. 148-170, (in Russian).
- [20] Gurulev A., Bordonsky G., Orlov A. Registration of autowaves of plastic flow in ice structures during radar measurements. // *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, t. 20, No. 3, 2023, pp. 222–229. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-222-229 (in Russian).
- [21] Chernomorets S., Savernyuk E., Petrakov D., Dokukin M., Gotsiridze G., Gavardashvili G., Drobyshchev V., Tutubalina O., Kolchin A., Zaporozhchenko E., Kamenev N., Kamenev V., Kaeb A., Kargel J., Huggel K. Ice - rock collapse and subsequent mudflow in the Devdoraki Gorge (Caucasus, Georgia) in 2014. // *Mudflows: disasters. risk. forecast. protection. Materials of the IV International Conference, Irkutsk*, 2016, p. 244-248. (in Russian).
- [22] Svalova V., Zaalishvili V., Ganapathy G., Nikolaev A., Melkov D. Landslide risk in mountain areas. // *Geology of the South of Russia*, 10 (2), 2019, pp. 110-127, (in Russian).

[23] Tielidze L., Kumladze R., Wheate R., Gamkrelidze M. The Devdoraki Glacier catastrophes, Georgian Caucasus. // Hungarian Geographical Bulletin 68(1), 2019, pp. 21–35. DOI: 10.15201/hungeobull.68.1.2

SOME MODERN METHODS FOR REMOTE SENSING OF MOUNTAIN GLACIERS

Chikhladze V., Varamashvili N.

Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia vicachikh@gmail.com

Abstract. The paper presents a brief overview of modern methods of remote sensing of mountain glaciers. The prospects for using some of them for early warning of glacier collapse in Georgia are considered.

Keywords: glaciers, electromagnetic radiation, remote sensing, early warning.

AGROCLIMATIC CHANGES IN THE MOUNTAINOUS REGIONS OF GEORGIA

Meladze M., Meladze G.

*Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia
meladzem@gmail.com*

Abstract. Based on the meteorological observations carried out in the areas of the mountainous and high-mountainous areas of Mtskheta-Mtianeti in east Georgia and Samegrelo-Zemo Svaneti in west Georgia, the trend of changing agro-climatic characteristics under the global warming has been revealed. According to the equations drafted by future (2020-2050) scenarios (1°C and 2°C temperature increase), the sums of active temperatures (>10°C) were determined and agroclimatic zones were identified. As per the scenarios developed for global warming, a temperature increase will not have any significant negative impact on the agricultural crops provided it is not higher than the increase forecasted by the scenario. On the contrary, it may be beneficial to grow the crops at different altitudes from the sea level, by considering vertical zoning, where a 1°C temperature increase will make it possible to grow the crops 100-200 m higher and 200-300 m higher with a 2°C temperature increase as compared to the present zones.

Keywords: global warming, future scenarios, active temperatures, agroclimatic zones

In terms of contemporary global climate warming, the problem of slowing down the ongoing climate change and vulnerability and adaptation to it has become a world-wide issue, which was recognized as the major challenge of the UNO at the beginning of the present century. The global warming may lead to the melting of eternal glaciers, floods, storms, hurricanes, droughts and other natural calamities. As the researchers conclude, the present-day frequent natural calamities are caused by both, natural and unforeseen anthropogenic actions. By the end of the XX century, the content of CO₂ in the atmosphere reached 10%. Unless the exhaust fumes are limited, by 2030-2050, the content of carbon gas may double and the temperature may rise by another 2-3°C. This will lead to the establishment of an absolutely different system of industry and transport and particularly agricultural sector and other branches of economy [1]. Therefore, most world countries must agree to take preventive measures to reduce the emissions of such natural resources as oil, coal, as well as CO₂ and other greenhouses gases from big factories and vehicles into the air. The said emissions create so called “greenhouse effect” in the atmosphere, with an increased near-earth surface temperature as its major outcome. Following the above-mentioned, global warming is a problem to solve by the joint action of the world countries [2, 3, 4].

In terms of global warming, interesting data of meteorological observations are fixed in relation to the glacier melting on the Caucasian [5] in the high-mountainous zone of Mestia, where a many-year average air temperature increase of 0.1°C is observed what supports the melting of glaciers. Another reason for the reduction of glaciers is an increase in temperature by 0.3 and 0.2°C in the high-mountain zone of east Caucasian (Jvari Pass, Kazbegi). The given studies, alongside with the increasing trend of sum of active temperatures identified by us, evidence the trend of another kind of (many-year average) temperature increase in terms of global warming, what activates the glacier melting process.

As regards the global warming, the upper limit of the plantation of young birch forest fixed in the high-mountainous zone of Mtskheta-Mtianeti region of east Georgia (on the territory of Kazbegi Municipality) at 2685 m above sea level is noteworthy, while as suggested by the census of 2002, the upper forest limit ended at 2560 m asl. As a result of global warming, the upper limit of the forest is subject to vertical migration [6].

The impact of global warming on the natural environment is immense. For instance, a rise in the near-land air temperature of the crop plantations may be negative in respect of propagation of twice or thrice more new generations of the organisms causing plant diseases. They may appear in the areas where they were not seen before. This will cause problems for agrarian specialists (entomologists, phytopathologists). Therefore, it will be necessary to take relevant efficient measures against them to avoid expected plant diseases reducing the productivity (harvest) by 40-50%. In this connection, we would like to note that in 2017, in Samegrelo-Zemo Svaneti and Imereti regions in west Georgia was seen a massive raid of invasive plant pest brown marmorated stink bug, which was not seen in the region before. The pest badly damaged annual and perennial crops. The agricultural specialists assume that their mass propagation is expected in east Georgia as well and relevant measures were planned against them. Global climate warming is named as the major reason for the propagation of this pest during the vegetation period.

Consequently, the study of the impact of irregular climate change on the productivity and vulnerability of the agricultural crops and expected transformation of the existing agroclimatic zones is necessary and topical.

The goal of the study was, by using the relevant trends, to identify the trend of change of agroclimatic properties (increase/decrease (of the sums of active temperatures (>10°C) and atmospheric precipitations (mm)) under the influence of global warming on the territories of the mountainous and high-mountainous zones of eastern and western regions of Georgia during the vegetation period, which is the major determinant of the plant growth and development and harvest formation and productivity. By using these trends, the dynamics of their change in time could be specified. Another goal of the study was to identify the agroclimatic zones suitable for the satisfactory yield and spread of agricultural crops according to the current (baseline) and future scenarios - in terms of a 1-2°C temperature increase. A mathematical statistical method was used to process and analyze the data of many-year (70-year-long) meteorological observation for Khaishi and Mestia Municipalities of mountainous and high-mountainous Samegrelo-Zemo Svaneti region in west Georgia and Dusheti and Kazbegi Municipalities of mountainous and high-mountainous Mtskheta-Mtianeti region in east Georgia.

The dynamics of the course of the said indices was presented with trends, according to which, the trends of increasing sums of active temperatures (>10°C) and decreasing sums of the atmospheric precipitations (mm) were identified in the mountainous and high-mountainous regions of west Georgia and mountainous and high-mountainous regions of east Georgia. The equations of the trends were used to calculate increasing and decreasing trends of the sums of active temperatures (>10°C) and atmospheric precipitations (mm) (Table 1).

Table 1. The sums of active temperatures (>10°C) and atmospheric precipitations (mm) according to trends.

Region/ zone	Meteo- station	Sum of active temperatures (>10°C)					
		Beginning of the period	End of the period	Increase	Decrease	Average speed in every 10 years	
						Increase	Decrease
Samegrelo-Zemo Svaneti/ Mountainous	Khaishi	3178	3470	292		41.7	
High-mountainous	Mestia	1877	2134	257		36.7	
Mckheta-Mtianeti/ Mountainous	Dusheti	2987	3203	216		30.7	
High-mountainous	Kazbegi	1511	1797	286		40.8	
Samegrelo-Zemo Svaneti/ Mountainous	Khaishi	Sum of atmospheric precipitations (mm)					
		690	655		35		5.0
		449	430		19		2.7
		514	495		19		2.7
		507	388		119		17.0

As the given Table shows, there is a trend of decreasing atmospheric precipitations (119 mm) in the high-mountainous zone of east Georgia. The average velocity of the given reduction is 17 mm in every 10 years. The increasing and decreasing trends of agroclimatic values in other zones are relatively less.

In order to identify the agroclimatic zones in the above-said regions, the scenarios consider a 1°C temperature increase in the regions of west Georgia and a 2°C temperature increase in the regions of east Georgia. The dates of average daily air temperature above 10°C, sums of active temperatures and altitude above sea level (m) were used for this purpose. The latter is in direct correlation with the regular change in air temperature depending on the altitude [7]. The given data were processed by using the mathematical statistics method adopted in agrometeorology with close correlations established. Following the obtained reliable associations, relevant regression equations were drafted (Tab. 2). At different times, the equations of the given type were used to identify the sums of active temperatures to identify the relevant zones of crops [8].

Table 2. Regression equations to determine the dates of average daily air temperature transition above 10°C and sums of active temperatures in the mountainous and high-mountainous regions of Georgia.

Determination of starting date $t > 10^{\circ}\text{C}$ and $\sum T$	Current (baseline), mountainous and high mountainous (West Georgia)	Scenario, increase by 1°C, mountainous and high mountainous	Current baseline, mountainous and high mountainous (East Georgia)	Scenario, increase by 2°C mountainous and high mountainous
determination of starting date ($t > 10^{\circ}\text{C}$)	$n = 0.025h + 57$	$n = 0.028h + 51$	$n = 0.029h + 55$	$n = 0.035h + 38$
determination of $\sum T$	$T = -36.53n - 0.75h + 6537$	$T = -16.711n - 1.127h + 5496$	$T = -30.923n - 0.57h + 6085$	$T = -44.25n - 0.15h + 6742$

In the equations: n - is the number of days from the 1st of February to the date of the temperature above $> 10^{\circ}\text{C}$; h - is the altitude above sea level (m); T - is the sum of active temperatures ($> 10^{\circ}\text{C}$).

By using the given equations, the sums of active temperatures by considering the current (baseline) values and future (2020-2050) scenarios (a temperature increase by 1 and 2°C) were identified and the agroclimatic zones of the distribution of crops in the regions were defined [9, 10].

The mountainous area of the region spreads from 500 to 1500 m above sea level of the humid subtropical zone of Samegrelo-Zemo Svaneti region of west Georgia, where two agroclimatic zones (I and II) were identified:

The I agroclimatic zone extends from 500 m to 1000 m altitude above sea level. The sum of baseline active temperatures is 3620-2790°C and is 3800-3110°C under the scenario with a 1°C temperature increase.

The II agroclimatic zone extends from 1000 m to 1500 m altitude above sea level. The sum of current (baseline) active temperatures is 2790-1960°C and is 3110-2430°C under the scenario.

Higher mountainous area of the given region, from 1500 to 2500 m altitude, there extends the high-mountainous area of the region, where two agroclimatic zones are identified (III and IV)

The III agroclimatic zone extends from 1500 to 2000 m altitude. The sum of baseline active temperatures in the given zone is somewhat reduced and makes 1960-1130°C on average and 2430-1760°C in case of the scenario.

The IV zone agroclimatic zone extends from 2000 m to 2500 m altitude above sea level. The sum of baseline active temperatures in the given zone is 1130-300°C. The sum of temperatures is obviously reduced, and it is 630°C (baseline) at the altitude of 2300 m.

In respect of global warming, the air temperature in Mtskheta-Mtianeti region in east Georgia is increasing more. As it was noted, the temperature is risen by 0.5°C here unlike Samegrelo-Zemo Svaneti region in west Georgia. Therefore, a 2°C temperature increase is considered by the scenario, where 3 agroclimatic zones were identified:

The I agroclimatic zone spreads from 1000 m to 1500 m altitude above sea level in the west and south-east of the region. This zone covers the mountainous areas of Dusheti and Tianeti Municipalities. The sum of current (baseline) active temperatures is 2920-2180°C and is 3360-2500°C under the scenario (a 2°C temperature increase).

The II agroclimatic zone belongs to the high-mountainous region, which is located up to 2000 m in the east. The sum of current (baseline) active temperatures is 2180-1450°C and 2500-1660°C under the scenario. Under the

future scenario (a 2°C temperature increase), the sum of temperatures, as compared to the sum of baseline temperatures, is almost 300°C more.

The III high-mountainous agroclimatic zone spreads from 2000 m to 2500 m altitude above sea level. It covers the upper border of the subalpine zone. In this high-mountainous region, the sum of baseline active temperatures is obviously reduced (to 700°C).

In the considered region, in the zones designated, where high-mountainous villages of Mestia Municipality (e.g. Ushguli (2200 m asl)), villages of Dusheti Municipality (Khone (2150 m a.s.l.), Roshka (2050 m a.s.l.)), villages of Kazbegi Municipality (Juta (2200 m asl)) and other villages (Akhieli, Shatili, at relatively lower altitudes) are located, the agricultural specialists and agricultural farmers, together with the local residents, with the future perspective, will be able to grow the crops profitable for them and to produce high-quality products with them to be used by the residents of the above-listed villages. If necessary, they will even realize some of the products. This will promote the employment and establishment of the local residents what will support the reduction of depopulation in the mountainous and high-mountainous zones of the country. As a result, the social-economic conditions will improve. These activities are supported by the Law of Georgia, "On the Development of High Mountainous Regions" adopted by the Government of Georgia on July 16, 2016 as well. In particular, the goal of the Law is to ensure the wellbeing of the residents in the high-mountainous regions of Georgia, support employment and improve the quality of life and social-economic conditions. In line with this major Law, the results of the study conducted by us for high-mountainous regions given in the present work are worthwhile. It should be noted that the given regions with their natural location (relief and orographic conditions, diversified forest landscape, etc.) are interesting and attractive. They have good prospects to develop tourism and recreation activities in summer, autumn and winter seasons. On the territory of Mestia (located at 1500 m above sea level and higher), ski mountaineering is very popular sports in autumn and winter seasons, while sporting activities organized in Gudauri Ski Resort (at 2200 m above sea level and higher) are also very important.

Following the global warming, certain mitigation and adaptation measures against some negative events are recommended to use in the agrarian sector at present and in the future. Growing selective crops, which are resistant to higher temperatures and droughts, is a good choice. Besides, it is important to make terraces over the mountain and high-mountain slopes (with >10° gradient) to reduce intense evaporation of water runoff and water from soil; soil surface cultivation and loosening to reduce water evaporation from the soil is another efficient measure. Besides, efficient use of modern irrigation and drip irrigation and other methods will be beneficial.

References

- [1] Workbook on Climate Change Impact Assessment in Agriculture. // Prepared by rodar E. Riwero Vega. Camaguey meteorological center, 2008, 110 p.
- [2] Harpel S. Mavi, Graeme J. Agrometeorology: Principles and Applications of Climate Studies in Agriculture. // Binghamton, NY, USA, 2004, 364 p.
- [3] Hubbard G. Agriculture Climatology. // Vol. 1, №2, Climate Center the University of Nebraska, 2007, 134 p.
- [4] Human development report, 2007-2008. // Fighting climate change human solidarity divided word. published for the United development program (UNDP), 2008, 98 p.
- [5] Tielidze L. Glaciers Catalog of Georgia. // Tbilisi, 2016, p. 116.
- [6] Togonidze N. Climate change and anthropogenic impact on subalpine birch forest. // Modern problems of geography and anthropology. Proceedings of International conference, Tbilisi, 2015, pp.144-148
- [7] Mumladze D., Gagua G., Lomidze N. Georgian mountain zones' climatic, landscape and ecological assessment. // Collected papers new series №4(83), Proceedings of the conference dedicated to the 100th birthday anniversary of professor Levan Maruashvili, 2012, pp.126-137.
- [8] Meladze G., Meladze M. Perspective vine propagation zones in Georgia considering expected global climate change. // Bulletin of The Georgian Academy of Sciences, 172, № 2, 2005, pp. 304-305.
- [9] Meladze M., Meladze G. Transformation of agroclimatic zones of Samegrelo-Zemo Svaneti in conditions of global warming. // Scientific conference: Actual problems of Geography, 2019, pp. 96-102.
- [10] Meladze G., Tatishvili M., Meladze M. Changes of agroclimatic resources of mountainous and high mountainous regions of Georgia in terms of global warming. // Proceedings book of the international conference on research in applied sciences-II, Konya-Turkiye, 2023, pp.56-164.

**ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკათეორიისა და
ბიომრავალფეროვნების ინსტიტუტის საცდელ-სადემონსტრაციო ნაკვეთის აბრეჯებული
რეზიუმეები**

აფციაური ნ.

*ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკათეორიისა და ბიომრავალფეროვნების ინსტიტუტი, ბათუმი,
საქართველო
nani-777@mail.ru*

ანოტაცია. ნაშრომში განხილულია ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკათეორიისა და ბიომრავალფეროვნების ინსტიტუტის საცდელ-სადემონსტრაციო ნაკვეთის 2016-2020 წლების მიკროკლიმატის შესწავლის შედეგები. 2016 წლიდან განახლდა სადემონსტრაციო სასოფლო-სამეურნეო კულტურების, ხეხილის ზრდა-განვითარების და მოსავლიანობის ფორმირების შესწავლა, განსხვავებულ კლიმატურ პირობებში. ინსტიტუტის ტერიტორიის მეტეომოედნიდან აღებული 5 წლის (1916-2020წ.წ.) მონაცემების დამუშავების შედეგების მიხედვით ნორმად მიღებულია: ტემპერატურა 16, 7°C, ტენიანობა 50-80%, აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი 1550-2500°C, კრიტიკული ტემპერატურული მინიმუმი - 14°C, და მაქსიმუმი 37°C, მოსული ნალექების რაოდენობა მერყეობს 1150-2940 მმ.-მდე. ნალექების დღეთა რიცხვი შეადგენს 199-ს აქედან 98 დღე 5 მმ-ზე მეტია.

საკვანძო სიტყვები: მიკროკლიმატი, ფენოლოგია, მცენარე, ფაზები.

სასოფლო-სამეურნეო კულტურებზე ფიტოსანიტარული მდგომარეობის, დაავადებების მიმართ გამძლეობის შესწავლის, მცენარის ზრდასა და განვითარებისათვის, ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს მიკროკლიმატი. მიკროკლიმატი არის (ბერძნ. mikros პატარა, მცირე, klima დახრა დედამიწის ზედაპირისადმი) დედამიწის ზედაპირის ერთი გარკვეული უბნის კლიმატი, რომელიც განსხვავდება მის გარშემო არსებული ტერიტორიის კლიმატისაგან, რაც განისაზღვრება ტემპერატურით, ტენიანობით და სხვა აბიოტური ფაქტორებით. თუ ცნობილია გარემო პირობების გავლენა მოსავლის განვითარების თითოეულ ფაზაზე, შესაძლებელია მათი მანიფესტაციის წინსვლის ან დაგვიანების პროგნოზირება-ფენოლოგიური დაკვირვებები, რომლებიც დიდი ხნის განმავლობაში ხორციელდება და საშუალებას იძლევა დასკვნები გამოიტანოს სამეცნიერო კვლევის სფეროში.

ყოველი მცენარე ვითარდება განსაზღვრული დროის განმავლობაში, ე. ი. კვირტის გაღვივების დღიდან ფოთოლცვენის დაწყებამდე, რასაც სავეგეტაციო პერიოდი ეწოდება. სავეგეტაციო პერიოდის განმავლობაში ყოველ ცალკე აღებულ მცენარეში ადგილი აქვს განვითარების განსაზღვრულ პერიოდებს, რომლებსაც ფენოლოგიური ფაზები ჰქვია. აღნიშნული ფაზები რეგისტრირდება თარიღების მიხედვით და მათ ფენოთარიღი ეწოდება.

მცენარის განვითარების ფაზების დადგომის საშუალო თარიღების დადგენა მიმდინარეობს წლების მიხედვით. მნიშვნელოვანია აგრეთვე მცენარის სავეგეტაციო პერიოდის განმავლობაში ატმოსფეროს სტიქიური მოვლენების აღრიცხვა, ესენია: ძლიერი ქარი, ხანგრძლივი გვალვა, წყალდიდობა, სეტყვა, ყინვები და სხვა, რაც საბოლოოდ გამოყენებას ჰპოვებს მცენარეთა მდგომარეობის შეფასების დასაზუსტებლად.

ტემპერატურას, რომლის ქვემოთ ვეგეტაციაში მყოფი მცენარეები ზიანდებიან ან იღუპებიან, კრიტიკულს უწოდებენ. კრიტიკული ტემპერატურები წლების მიხედვით სხვადასხვაა. მცენარეთა დაზიანების ხარისხი დამოკიდებულია წაყინების ინტენსიურობასა და მისი მოქმედების ხანგრძლივობაზე. არსე-

ბობს წაყინვების და ზამთრის ყინვების წინააღმდეგ ბრძოლის სხვადასხვა მეთოდები, რომლებიც პირობითად იყოფა ორ ჯგუფად: I – ფიზიკური; II – ბიოლოგიური.

ტერიტორიაზე არსებული აგრომეტეოსადგურიდან აღებული 1961-2015 წლის მონაცემების შედეგები დამუშავებულია კლიმატოლოგიისა და აგროკლიმატური მეთოდის მიხედვით [2]. დადგენილია მეტეოელემენტების - ჰაერის ტემპერატურის (საშ. დეკადური, საშ. თვიური, წლიური და ექსტრემალური) ნიადაგის, საშუალო მრავალწლიური სიდიდეები, ჰაერის შეფარდებითი ტენიანობა, ნალექების რაოდენობა (სელიანინოვას მიხედვით), მზის ნათების ხანგრძლივობა, (ღრუბლიანი, მოწმენდილი, მზიანი), ნალექიანი დღეების რაოდენობა; თოვლის საფარის, ნამის ხანგრძლივობა, ქარის სიჩქარე და მიმართულება, მონაცემების მიხედვით ჰაერის ტემპერატურის საშუალო მრავალწლიური შეადგენს 13,7°, შეფარდებითი ტენიანობა 83%. 160 დღის განმავლობაში მოსული ნალექების რაოდენობაა 2500 მმ. მზის ნათების ხანგრძლივობა წელიწადში აღემატება 1850 სთ, დღეების რაოდენობა კი 285. ღრუბლიანობა (103) ორჯერ მეტია (48) მოწმენდილი ცის დღეებზე. წლის განმავლობაში ფიქსირდება 11 დღე ძლიერი ქარით (14 მ/წმ-ზე მეტი) და 25 დღე ჭექა-ქუხილი. გაბატონებულია (70%) სამხრეთ-დასავლეთის ქარი საშუალო სიჩქარით 1.8 მ/წმ-ში [1].

სავეგეტაციო პერიოდი (ჰაერის საშუალო დღიური ტემპერატურა 10°-ს ზემოდ) იწყება აპრილის სითბოს დაგროვებით, წლების მიხედვით ეს პერიოდი შეიძლება გაიზარდოს 2.5 თვით. დასასრულს მოსალოდნელია წაყინვები. ყველაზე თბილ თვეებად ითვლება ივლისი და აგვისტო. ჰაერის შეფარდებითი ტენიანობა ზაფხულიდან შემოდგომამდე იზრდება 82-87%-ით. სავეგეტაციო პერიოდში 92 დღის განმავლობაში მოსული ნალექების რაოდენობა მეტია 1400 მმ-ზე, რომლის ინტენსივობა აჭარბებს საშუალო წლიურ სიდიდეს. ყველაზე მშრალ თვედ ითვლება მაისი, წვიმიანი- ოქტომბერი.

ჰიდროთერმული კოეფიციენტის მიხედვით, სავეგეტაციო პერიოდის დასაწყისში ნიადაგის დატენიანების უკმარისობა და ძლიერი ქარი აღინიშნება (5-ჯერ), მზის განათების ხანგრძლივობაა 1300 და შეადგენს 70%-ს. ყველაზე ღრუბლიანი ივლისი და აგვისტო, მოწმენდილი - ოქტომბერი. 15°-ის მაღლა პერიოდი იწყება მაისის მეორე დეკადიდან და მთავრდება ოქტომბრის დასაწყისში 150 დღე, დაგროვილი 3000° აქტიური ტემპერატურით. საშუალო დეკადური ტემპერატურა მერყეობს 16-23°. 64 დღის განმავლობაში 1000მ ნალექი მოდის. თვეში წვიმების დღეთა რიცხვია 12-14. ამ პერიოდში არადა-მაკმაყოფილებელ ფაქტორად ითვლება წვიმიან ამინდში 10°-ის ქვემოთ ტემპერატურის დაწევა. 1961-2015 წლის სტატისტიკური მონაცემები ინახება არქივში [2].

#	წლები	ჰაერის ტემპერატურა T°C					ტენიანობა, %			ნალექები მმ	ნალ.დღეების რაოდენობა	
		წლ. საშ	წლ. საშ. მაქ.	წლ. საშ. მინ.	წლ. აბს. მაქ.	წლ. აბს. მინ.	წლ.საშ	წლ. საშ. მინ.	წლ. აბს. მინ.	წლისΣ	1>	5>
1	2016	17,8	25	10	37	-7	79	48	22	1701,0	164	94
2	2017	16,4	25	10	35	-11	79	48	10	2940,5	196	99
3	2018	17,1	24	11	31	-4	79	59	34	2307,4	213	105
4	2019	16,1	23	8	30	-5	78	53	30	1152,6	183	94
5	2020	16,3	23	10	35	-14	78	57	34	1256,5	208	100

2016 წლიდან ინსტიტუტის სხვა ტერიტორიაზე გადასვლის გამო განახლდა სადემონსტრაციო სასოფლო-სამეურნეო კულტურების, ხეხილის ზრდა-განვითარების და მოსავლიანობის ფორმირების შესწავლა განსხვავებულ კლიმატურ პირობებში [3]. ინსტიტუტის ტერიტორიის მეტეომოედნიდან აღებული 5 წლის (1916-2020წ.წ) მონაცემების დამუშავების შედეგების მიხედვით ნორმად მიღებულია: ტემპერატურა 16, 7°C, ტენიანობა 50-80%, აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი 1550-2500°C, კრიტიკული ტემპერატურული მინიმუმი -14°C, და მაქსიმუმი 37°C, მოსული ნალექების რაოდენობა მერყეობს 1150-2940 მმ.-მდე [4]. ნალექების დღეთა რიცხვი შეადგენს 199-ს აქედან 98 დღე 5 მმ-ზე მეტია (იხ. ცხრილი).

ლიტერატურა

- [1] კელენჯერიძე კ.ბ., ჯიქია ე.ბ. სასოფლო - სამეურნეო მეტეოროლოგიისა და კლიმატოლოგიის პრაქტიკული სახელმძღვანელო, ნაწილი 2. // შრომის წითელი დროშის ორდენის საქართველოს სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტის გამომცემლობა, თბილისი, 1958 წ.
- [2] მელაძე მ. აგრომეტეოროლოგია.// გამომცემლობა „უნივერსალი“, თბილისი, 2008 წ.
- [3] კლიმატის ცვლილებასთან ადაპტაციის ეროვნული გეგმა სოფლის მეურნეობის სექტორისთვის. // თბილისი, 2017.
- [4] აფციაური ნ. მცენარეული კულტურების განვითარების ოპტიმალური კლიმატური პირობების შესწავლა ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიტოპათოლოგიისა და ბიომრავალფეროვნების ინსტიტუტის საცდელ-სადემონსტრაციო ნაკვეთზე. // საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია, აჭარის ავტონომიური რესპუბლიკის რეგიონული სამეცნიერო ცენტრი, შრომები VIII, ბათუმი, 2022.

AGROCLIMATIC RESOURCES OF THE PILOT-DEMONSTRATION PLOT OF THE INSTITUTE OF PHYTOPATHOLOGY AND BIODIVERSITY OF BATUMI SHOTA RUSTAVELI STATE UNIVERSITY

Aptsiauri N.

*Institute of Phyto Disease and Biodiversity of Batumi Shota Rustaveli State University, Batumi, Georgia
nani-777@mail.ru*

Abstract. The results of the 2016-2020 microclimate study of the pilot-demonstration plot of the Institute of Phytopathology and Biodiversity of Batumi Shota Rustaveli State University are discussed in the paper. Since 2016, the study of demonstration agricultural crops, growth and development of fruit trees and yield formation in different climatic conditions has been renewed. According to the results of data processing for 5 years (1916-2020) taken from the meteorological field of the Institute, the following is accepted as the norm: temperature 16.7°C, humidity 50-80%, sum of active temperatures 1550-2500°C, critical temperature minimum -14°C, and a maximum of 37°C, the amount of precipitation ranges from 1150-2940 mm. The number of precipitation days is 199, of which 98 days are more than 5 mm.

Key words: microclimate, phenology, plant, phases.

THE ROLE AND SIGNIFICANCE OF DATABASE CREATION IN THE DEVELOPMENT OF "SCHEME OF PUBLIC GREEN SPACES" IN THE CITIES OF BELARUS (ON THE EXAMPLE OF BARANOVICHI CITY)

Shchasnaya I., Krupskaya M.

Belarusian State University, The Republic of Belarus

irina.schastnaya@gmail.com

Abstract: The green areas of the city of Baranovich are considered a significant element of its urban planning structure. An analysis of the state of green spaces in the city has been conducted. The specifics of creating a database of green areas in the city have been studied, and a model for its implementation has been developed, emphasizing its role and significance in the development of the urban planning project "Scheme of Green Areas of Baranovich." The results of the study allow systematizing and analyzing the data necessary for effective management of green areas.

Keywords: green spaces, green areas, green spaces scheme, green areas database.

The city of Baranovich is a young, multifunctional, rapidly developing settlement with a population of 172,000 people, serving as a major industrial and railway center in Belarus. Its structure and dynamics are characterized by high socio-demographic and socio-economic potential. The city has more than 195 industrial enterprises, including 27 large ones (www.baranovich-gik.gov.by). With population growth, the city has faced the problem of limited green spaces, essential for organizing recreational activities for the population, fulfilling environmental functions, and improving the state of the environment. The total area of existing landscaped public green spaces in Baranovich is 79.83 hectares. However, approximately 5 hectares of them are located in zones with excessive sanitary impact, such as sanitary protection zones, road and cemetery buffer zones. Without relocating them from these zones, the full use of green areas for recreational purposes is impossible.

Provision of public green areas for the current number of population in Baranovich is 3.78 m.²/person, which is significantly below the normatively justified area, which should be at least 245.07 ha with a standard of 14 m.²/person. Thus, currently there is a deficit of landscaped public green spaces in Baranovich, which requires attention and improvement measures. The maintenance and further development of green areas is becoming a key necessity to ensure the ecological balance and well-being of the population. In this regard, the creation of a scheme of green spaces becomes an urgent objective for the city.

"Scheme of public green spaces" is a special urban planning project developed for optimization and management of green and natural areas of cities. It includes information on the location, square, vegetation types and planned measures for the development and protection of these areas. The main goal of this project is to create a system of green areas that contributes to a favorable urban environment, recreation of the population and nature maintenance [1]. The development of the scheme is a complex and multifactorial process that requires consideration and integration of information from a variety of sources, including data provided by agencies, field surveys, urban planning projects, environmental data and regulatory requirements. Considering all these indicators allows for the creation of a scheme that optimally addresses the needs of the urban environment, ensures that the recreational and environmental enhancement needs of the population are met, and promotes the preservation of natural and cultural values.

Public green areas are the main subject of the scheme. They are designed to organize various types of recreation of the population and include multifunctional and specialized parks, squares, boulevards, forest parks, hydro parks and meadow parks, as well as areas of short-term recreation near water, green areas of public city centers [2].

Green areas of Baranovichi city have a scattered location. In the central part, they are represented by two small parks along Komsomolskaya Street, boulevards and city center squares. In the north of the city, a water-green system has been formed along the banks of Svetilovskoye Lake. For the eastern part, plans have been developed to organize a park zone around Zhlobinskoye Lake. The inclusion of the suburban forest park "Gai" and the green zone around the reservoir on the Myshanka River has increased the level of greenery, but their level of improvement does not yet meet the requirements for recreational areas. A short-term recreation zone is beginning to form near the reservoir on the Myshanka River. However, a significant portion of green areas is in a neglected state or poorly developed, and there are unused public-use areas.

It is also worth noting that the quality of greenery and landscaping varies significantly between the central areas and more remote sites. The city has a huge amount of green spaces provided by private owners. The landscaping makes extensive use of cobblestone to pave pedestrian walkways and summer plants are planted in surrounding areas. An important aspect is the improvement, reconstruction and landscaping of existing parks, public gardens and streets of the city in accordance with landscaping standards. The development of green areas in the city of Baranovichi involves the formation of a natural framework, creation of new parks and squares, pedestrian alleys, boulevards, green areas of public facilities, residential yards, street plantings and special protective landscaping. There are also plans for the development of a water-green system in the adjacent areas, including the floodplains of the Myshanka River with a reservoir, Zhlobin and Svetilovskoe lakes, as well as other waterways and forested areas.

The green areas of Baranovichi, from the point of view of functional zoning and the General Plan, are part of the recreational zone of the city and are under the special rules of use and development. The protection zone regimes of historical and cultural values in part affect the allocation of sub-types of zoning and the use of public green areas. In accordance with the project of protection zones of historical and cultural values within the boundaries of the protection zone and on the territory of historical and cultural values, construction of buildings and facilities is forbidden, landscaping and gardening works are allowed. In the zone of building regulation, it is necessary to ensure maximum preservation of the existing landscape. All this should be taken into account when developing the scheme, to preserve the historical objects of the city through landscaping, while complying with the laws and requirements regarding the protection of cultural heritage.

When analysing the environmental constraints influencing the greening system in Baranovichi, it is important to distinguish their two main types. The first are protection zones from objects that are sources of technogenic impacts (sanitary protection zones and buffers of industrial, municipal, agricultural and transport facilities, as well as engineering infrastructure). On the territory of Baranovichi city there is a significant number of industrial, engineering and transport facilities that violate the established sanitary protection and buffer zones. This affects the existing and planned public green areas. Significant constraints are also associated with transportation and engineering lanes such as the M1 freeway, railways, roads and gas pipelines. These infrastructural facilities limit the development of green areas in the adjacent territory [3].

When developing a system of green areas in Baranovichi city to protect natural objects and resources from negative environmental impacts, it is also necessary to take into account environmental constraints in the form of zones of protection of natural complexes. These zones cover natural complexes and resources such as surface water bodies and watercourses, water intakes and others.

As a result of the subject area analysis covering the development of the special urban planning project "Public Green Space Scheme", various factors and aspects affecting urban green spaces were taken into consideration and analysed. This process has provided and systematized the data and information necessary to create a conceptual understanding of the subject area. The main elements of the conceptual model are objects and relations. First, there is an object set "Public green areas". The set of its entities includes all public green areas, which are located within the boundaries of the city and meet the area requirements.

Based on the results of the analysis, the following groups of entities can be defined to describe this primary set:

1. Source data, including materials from the General Plan and other detailed planning projects.
2. Entities related to data obtained from various agencies and organisations, environmental constraints, materials from the Land Information System and the National Cadastral Agency.

3. Entities describing the vegetation in public green areas: they are considered cumulatively and individually to characterise their spatial and morphological, environmental features.

4. Regulatory requirements, Maximum Allowable Emissions, greening norms, green areas accessibility radius norms, planting norms.

5. Specific entities associated with the project itself including information on employees, surveys, approvals and pictures that are relevant to the Green Spaces Scheme.

6. The Green Spaces Scheme project as a separate entity.

As a result, a visual representation of the subject area entities and interrelationships between them was created. One of the versions of the Entity-Relationship diagram has been used as a tool [4].

The model is based on a reconsideration of the approaches of analysis and modelling of the subject area. Various aspects including regulatory requirements, zoning and environmental constraints have been taken into account in the study process. It is also important to take into account the results of field surveys and communication with local authorities and the communities. The analysis has shown that the consideration of specific green spaces and their characteristics limits the ability to adequately take into account and integrate a diverse range of information. These prerequisites lead to the conclusion that the central essence of the system should be not only the consideration of specific green areas and their characteristics, but also the analysis of green spaces in the city as a whole, as well as the consideration of the green space scheme project as a separate entity with its links to other entities. This allows not only to characterize and take into account the green spaces and directly related entities (zoning, composition of plants, etc.), but also to integrate all this information into a unified system.

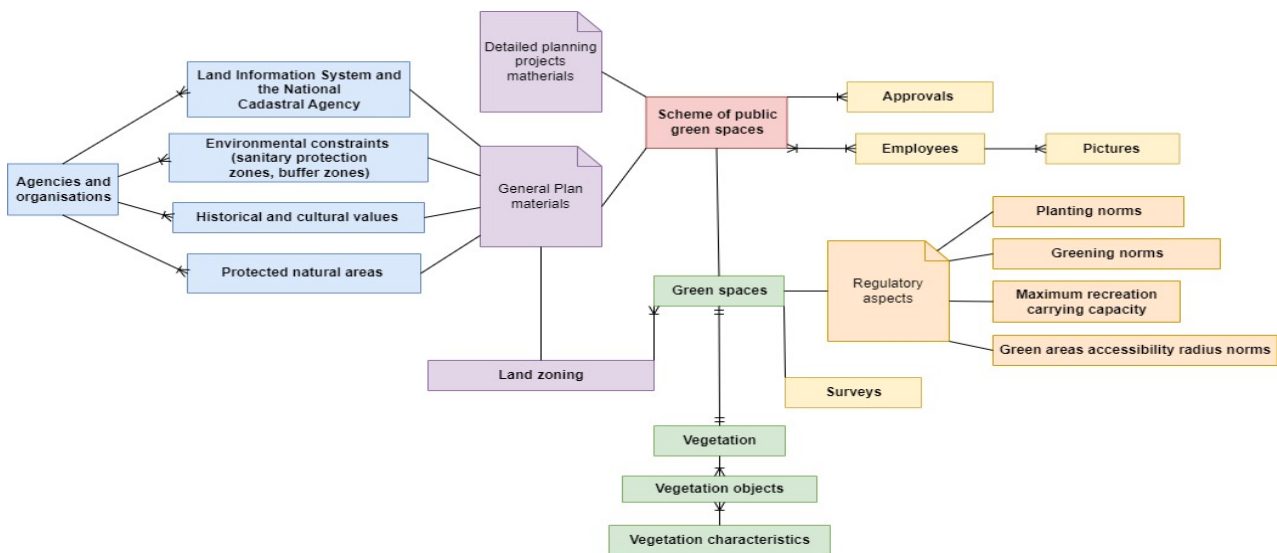


Figure - Diagram of the ER-model of the scheme of public green spaces of Baranovichi city.

Thus, the extension of the data concept to the level of modelling of the "Baranovichi Green Space Scheme" ensures data integrity, relevance and interrelation. This approach represents the real state of the subject area, making it the preferable method for consideration and modelling. The creation of a database based on this model can be considered as a first step towards improving environmental conditions in the urban environment.

In the process of implementation of the urban-planning project "Scheme of green areas of Baranovichi city", green spaces were analysed, their structure was determined and their current state was studied. It was determined that there is a sufficient number of green spaces in the city, but there are territorial differences in their condition and a lack of landscaped areas. When creating the scheme of green areas, much attention was paid to the creation of a database. Various factors and aspects affecting urban green spaces, such as regulations, planning restrictions, historical and cultural values and natural features, have been taken into account and analyzed. All of them are included in the ER-model, which was the basis for characteristics of the green areas of Baranovichi city and aimed at the development of an optimal greening system.

The proposed approach can be used for effective management of green spaces in Baranovichi and considered when developing schemes of green spaces in other cities of Belarus, which will help to improve the state of the urban environment and increase the quality of life for people in these urban settlements.

References

- [1] Technical documents of Building Regulations SN 4.3.01.09 "Town-planning projects of general, detailed and special planning"
- [2] Law of the Republic of Belarus of 14.06.2003 N 205-3 (ed. of 18.12.2018) "On Vegetation"
- [3] Erokhina V.I. Greening of populated areas: Pocketbook. // V.I. Erokhina, G.P. Zherebtsova, T.I. Wolftrub – Moscow: Stroyizdat, 1987, 480 c.
- [4] Date C. J. An Introduction to Database Systems – Boston: Pearson. ///Addison Wesley, 2004, 1050 p.

MONITORING OF GREEN SPACES' CONDITION IN MINSK CITY (THE REPUBLIC OF BELARUS)

Shchasnaya I., Rondak U.

Belarusian State University, The Republic of Belarus

irina.schastnaya@gmail.com

Abstract. The article has presented monitoring results of public green spaces' condition of the Oktyabrsky district of Minsk (The Republic of Belarus), implemented during summer season of 2023. 17 field areas were laid, within which 510 trees were examined. The analysis and assessment were carried out based on the obtained set of dendrometric characteristics. Computing results made it possible to determine the categories of the vital state of public green spaces in Oktyabrsky district and identify areas (squares and boulevards) in need of preventive sanitary and protective work.

Keywords: urban green spaces, environmental monitoring of green spaces, tree stand condition index, vital state category of tree stands.

The incessant city growth is becoming the main global trend. At present, the percentage of urban residents is more than 55% of the world's population and the cities themselves cover an area of more than 2 million square kilometers – and these parameters continue to increase. Becoming the main place of residence, urban environment condition strongly affects the life quality of urban population through many unfavorable factors. Here, natural components have been exposed both to urban planning transformations and all kinds of pollution due to the high industry and transport concentration, while the environment is characterized by low recreational and aesthetic potential. Among the possible adaptation techniques and mitigation strategies, the creation of an urban green spaces system is especially relevant. Green spaces can act as indicators of urban environment condition, pointing the appearance of certain environmental problems that may affect the health of the local population. However, the range of urban vegetation possibilities isn't limited to this. Due to green spaces, it's possible not only to identify unfavorable conditions, but also optimize environmental state. The improvement of the ecological situation in city is happening with the help of vegetation cover multifunctionality – capability of carrying out sanitary-hygienic, structural-planning, recreational, decorative and other valuable functions [2].

Despite such a valuable contribution to the optimization of urbanized space, the number of green areas in cities is decreasing, and existing ones are actively exposed to the negative influence of anthropogenic factors. In the Republic of Belarus, the settlement with the most striking manifestation of anthropogenic load is the capital – the city of Minsk. It's divided into 9 administrative districts, each of which differs in a certain type of development, transport routes location, industrial sphere peculiarities, etc. The spatial analysis of these administrative districts revealed that the most difficult situation with green areas is inherent in the Oktyabrsky district, which became the object of our study.

The district is located in the south-southwest of Minsk, occupying an area of 22,0 km². Its population reaches 8,5% of capital residents, while the density is about 7700 people/km² with an average value for the city 5720 people/km². On the territory of the district there're more than 20 largest industrial city enterprises. The district is also characterized by a well-formed green spaces system, which includes plantings that are diverse in their functional purpose, size, species and age composition. Meanwhile, the most valuable for the city and its residents

are public green spaces, which include parks, squares and boulevards. The total area of such green zones in the Oktyabrsky district is 114,7 hectares, mainly concentrated in the southern part, accounting for only 5,2% of the territory. The greatest contribution to the formation of the Oktyabrsky district's urban planting system is made by 2 parks, occupying 87,0 hectares or 75,9% of all reviewed plantings. Such large green areas are concentrated in the southern part of the district, being localized closer to the outskirts of the city. Secondary contribution is made by small squares and boulevards. In total, there're 17 squares with a total area of 24,4 hectares (21,3%) and 2 boulevards with a total area of 3,3 hectares (2,8%), which are relatively evenly distributed throughout the rest of the district. However, the provision of district residents with green areas calculation revealed its obvious insufficiency (7,3 m²/person), while for Minsk this parameter should correspond to at least 8-10 m²/person [<https://pravo.by>].

Analysis of the current situation in the system of green areas shows the need to preserve existing plantings in proper condition, allowing to fully perform the whole spectrum of possible urban vegetation functions. This was the fundamental factor for monitoring public green spaces ecological state in the Oktyabrsky district. Study results make it possible not only to identify the features and existing green areas problems extent, but also to prevent the development of the adverse factors influence at early stages. The entire field work cycle was carried out during summer season of 2023, a total number examined trees reached 510, including *Tilia cordata* (160), *Acer platanoides* (82), *Populus canadensis* (62), *Aesculus hippocastanum* (42), *Salix alba* (38), *Picea abies* (16), *Juglans mandshurica* (16), *Picea pungens* (15), *Betula pubescens* (13), *Fraxinus excelsior* (13), *Sorbus aucuparia* (12), *Quercus rubra* (11), *Salix fragilis* (8), *Betula pendula* (4), *Acer saccharinum* (3).

The main research methods are field, descriptive, cartographic, mathematical. Green spaces' ecological condition research was carried out using the analysis of such dendrometric characteristics as crown density grade (percentage of gaps), the color of leaves or needles, the absence of drying leaves or needles, the absence of drying branches, the absence of cracks, bark abscission and other trunk mechanical damages. By aggregate of these features, dendrological parameters of trees were determined by 6 categories in accordance with the scale of V. A. Alekseev, according to which category 1 corresponds to healthy trees without signs of weakening [1]. The methodology for plantings ecological condition monitoring involves the inspection of at least 30 most representative trees within the boundaries of each green area of the district. If there a smaller number of trees grew on the territory, then the stands were combined between the nearest green areas. Thus, 17 field areas with stands were laid, covering all the public green spaces of the Oktyabrsky district in Minsk. Two of such research areas were laid within the parks, within which 60 plants were examined. 15 remaining areas were laid on the territory of squares and boulevards, within the boundaries of which 450 trees were examined.

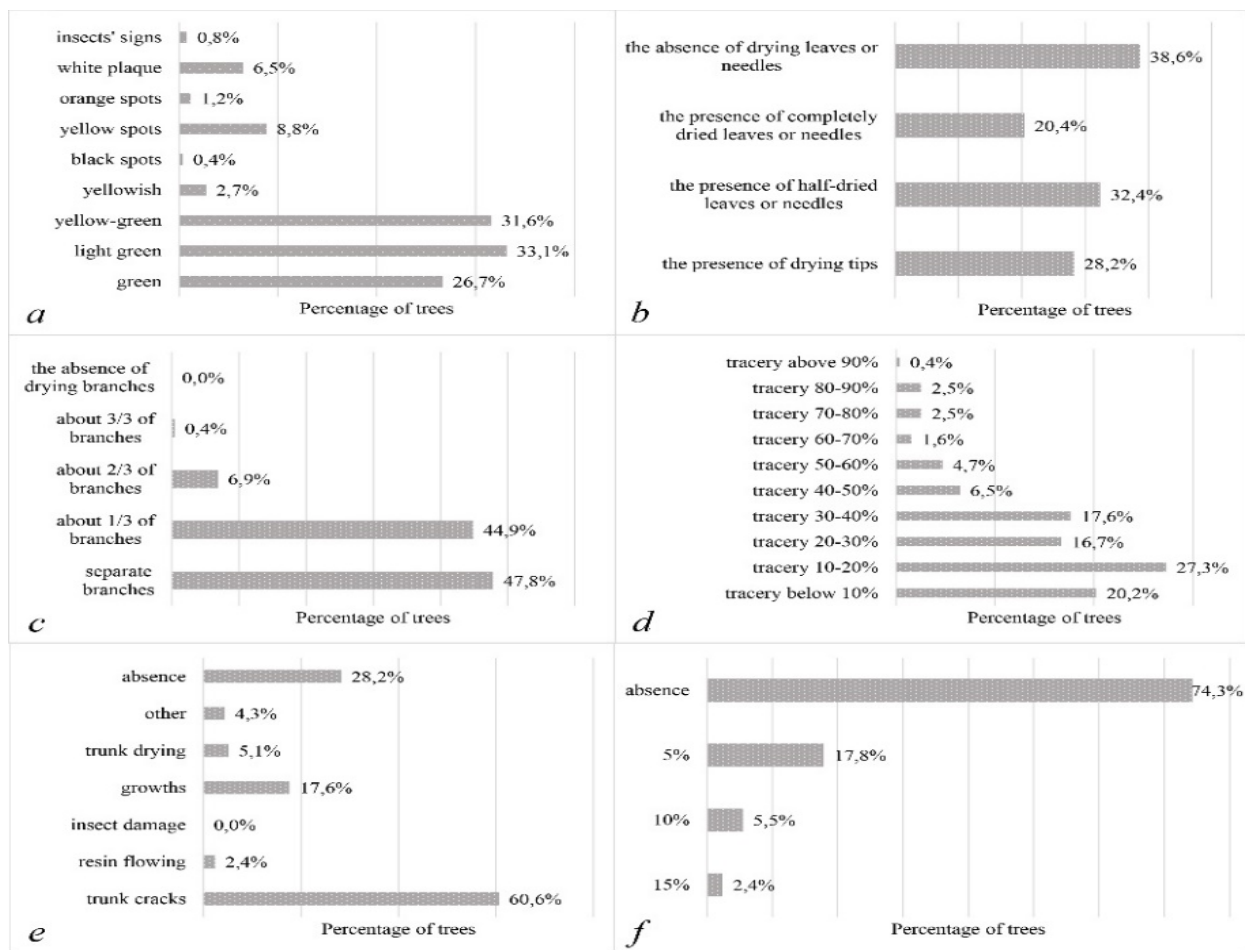


Fig. 1. Dendrometric characteristics of examined trees within the Oktyabrsky district in Minsk: a – color of leaves/needles; b – drying of leaves/needles; c – drying of branches; d – crown tracery; e – trunk mechanical damages; f – bark abscission.

The vast majority of examined plants of the district are characterized by the crown tracery in the range from 0 to 40%, but at the same time light green and yellow-green shades of leaves and needles. Trees with a higher tracery index are spread in less degree, trees with tracery index more than 60% are practically not noticed. The green color is characteristic for only a quarter of the examined trees, plants with yellow leaf coloration are least represented. Among the untypical coloring or leaves damage, yellow spots were most often noted – about 9% of the plantings. The number of trees with orange or black spots, as well as traces of insects, is minimal. Such orange and yellow spots usually indicate the drying of leaves or needles caused either by extremely arid and hot weather, or by exposure to chemical pollution of atmospheric air or soil cover. Black spots are possibly a sign of the disease “black spotting” caused by fungi *Phomopsis viticola*. Also, in the sample was noted the presence of white plaque – in 6,5% of plantings, which is an indicator of a fungal disease called powdery mildew. 40% of the examined trees are characterized by the complete absence of dried leaves or needles. At the same time, about 30% of trees have leaves or needles with dried tips, another 30% have half-dried ones. Completely dried leaves or needles are found on about 20% of trees. Also, about 50% of the sample trees are characterized by separately dried branches, for 45% drying 1/3 of the total number of branches is inherent. The number of trees with drying 2/3 or 3/3 branches is minimum. Meanwhile, it’s worth noting the absence of trees without dried branches. Bark abscission is observed in about 25% of all examined trees, among which plants with about 5% of abscission are dominated. Among other mechanical damages, trunk cracks and trunk growths are found most often.

According to the obtained results trees were assigned to one or another category of living condition according to the scale of V. A. Alekseev. Among 510 trees: 24,9% have no signs of weakening; 58,2% – are weakened; 11,4% – are severely weakened; 5,1% – are drying up; 0,4% – are deadwood. Then the next assessment stage is based on

the calculation of the tree stand condition index of public green spaces. The calculation is made according to the following formula [1]:

$$L_n = \frac{100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4}{N},$$

where L_n – the relative tree stand condition; n_1 – the number of healthy (without signs of weakening) trees; n_2 – weakened trees; n_3 – severely weakened trees; n_4 – drying up trees; N – the total number of trees (including deadwood).

Ecological condition of trees is determined by attributing obtained results to a defined category of an ecological status based on the modified scale of V. A. Alekseev. Tree stands with a condition index equal to 90-100 % belong to the category of healthy, 80-89 % – healthy with signs of weakening, 70-79 % – weakened, 50-69 % – damaged, 20-49 % – severely damaged, less than 20 % – destroyed [1].

Calculations have shown that green spaces within the studied areas have different condition indexes and, accordingly, belong to different stand categories. Thus, out of 17 stand areas: 1 considered healthy, 4 – healthy with signs of weakening, 8 – weakened, 4 – damaged. At the same time, it's worth noting that there are no heavily damaged and destroyed stands. The stands of both parks are classified as healthy with signs of weakening, the remaining ones are related to squares and boulevards.

The analysis of the final results showed that the condition of public green spaces of the Oktyabrsky district in Minsk generally can be described as moderately unfavorable: only a quarter of the trees are healthy, while weakened and damaged ones predominate among the stands. The best condition belongs the vegetation of parks, which are characterized by the presence of a large buffer plantings areas, as well as a large species and age diversity of plants. In parks, it's also possible to disperse visitors around the perimeter, which reduces the overall anthropogenic load on the territory. At the same time, such green zones are located at a distance from the most polluted northern and eastern parts of the district. The worst condition is typical for squares and boulevards that are actively polluted due to the lack of peripheral plantings buffer zone, as well as a large anthropogenic load due to frequent attendance by residents. At the same time, such small-area green spaces are often located near large highways with heavy traffic, which isn't only a source of exhaust gases, but also salt pollution due to the use of deicing reagents in winter. This is especially noticeable at the approach to the north of the district, where the territories belong to the central districts of Minsk. Also, the age and species composition of plantings can affect green areas condition. Frequently the vegetation of the central city districts is characterized by a less favorable ecological state not only because of a higher level of pollution, but also because of the preference for plant species that have high decorative characteristics, but don't have sufficient resistance to pollution.

Thereby, monitoring of green spaces' condition showed not only the importance of conducting such surveys, but also the need to improve the current situation. The preservation and optimization of a healthy urban green spaces system can be achieved through the implementation of various preventive works of a sanitary and protective essence, the formation of stable plantings complexes by selecting pollution-resistant plants and ensuring species and age diversity of vegetation. Such diversity will allow to avoid a massive deterioration of green spaces condition.

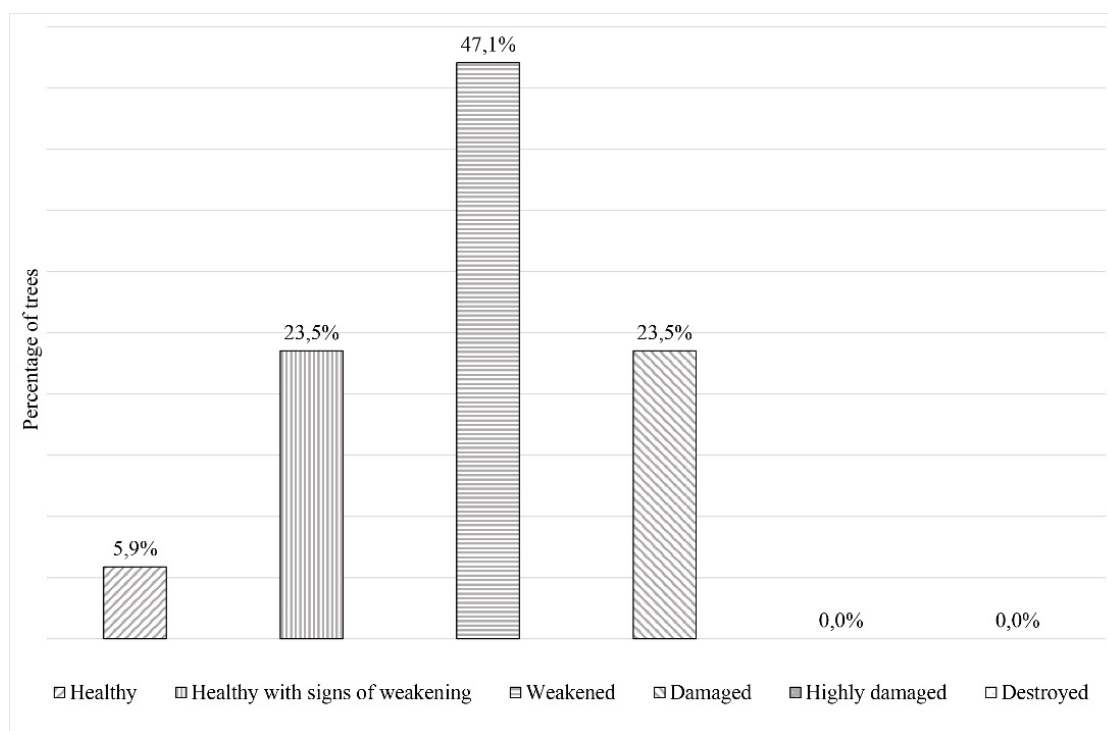


Fig. 2. Tree stand condition index of public green spaces of the Oktyabrsky district in Minsk.

Also, in order to reduce the level of anthropogenic load on the most visited squares of the district, it's recommended to create a number of additional green spaces that will not only disperse the number of visitors, but also expand urban green areas system of the district and make it more evenly spaced. This goal can also be achieved through the introduction of one of the most modern architectural and urban planning practices – vertical gardening. This form of green construction uses vertical surfaces of buildings and structures as a greening basis, allowing to expand urban green areas system without allocating additional territory. Meanwhile, vegetation retains its numerous functions that contribute to the optimization of the urban environment conditions.

References

- [1] Alekseev V. A. Diagnostics of the vital state of trees and stands. // Forestry, № 4, 1989, pp. 51–57.
- [2] Gorokhov V. A. The green nature of the city: a study guide. // 2nd ed., reprint. and add., Moscow: Architecture-S., 2005, 591 p.

წყალსაცავები და მევენახეობის პრობლემა

ჩხიტუნიძე მ., კირკიტაძე დ., კერესელიძე ზ.

მიხეილ ნოდინას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
marina_chxitudze@yahoo.com

ანოტაცია: საქართველოში ეკოლოგები მიიჩნევენ, რომ ჰიდროენერგეტიკული ობიექტების ხელოვნური წყალსაცავები იწვევენ ისეთი დონის მიკროკლიმატურ ცვლილებებს, რომლებიც ცალსახად უარყოფით გავლენას ახდენენ მევენახეობაზე. თუმცა პრაქტიკულად არ არსებობს საიმედო მონაცემები, რომლებიც მიღებულია ვაზის ადგილობრივ ჯიშებზე მიკროკლიმატური გავლენის მრავალწლიანი დაკვირვების საფუძველზე (ყოველ შემთხვევაში, ღია პუბლიკაციებში ჩვენ ასეთ ინფორმაციას ვერ მივაგენით). ამიტომ მიგვაჩნია, რომ კორექტული კვლევის შედეგად განმტკიცებული მაგალითების გარეშე, მხოლოდ ამ თემასთან დაკავშირებული საჯარო დისკუსიების საფუძველზე, არასწორია იმ უარყოფითი მოლოდინების განხილვა, რომლებიც დროში ბუნდოვან პერსპექტივაში შეიძლება მოხდეს.

საკვანძო სიტყვები: მევენახეობა, მიკროკლიმატი.

შესავალი: ნამახვანჰესის პროექტი, რომლის რეალიზაცია, გარემოს დამცველების აზრით, უცილებლად გამოიწვევს რიონის ხეობაში ადგილობრივი უნიკალური ვაზის ჯიშების დეგრადაციას. ამ პროექტისადმი საზოგადოების ყურადღება ობიექტურად გამახვილებულია სულაც იმიტომ, რომ სხვა ხეობებში, იქ სადაც მცირე სარკიანი წყალსაცავები გაგვანია, პრაქტიკულად არ არის სამრეწველო მასშტაბების მევენახეობა. ამრიგად, სულაც არ არის გასაკვირი, რომ ჩვენს მევენახეებს საკუთარი გამოცდილება არ გააჩნიათ. ალბათ, მაინც არსებობს ერთი გამონაკლისი, რიონის ხეობის მონაკვეთი შაორის წყალსაცავის მიმდებარედ, რომელმაც თეორიულად შეიძლება გავლენა მოხდინოს, მაგალითად, წესის, კვაცხუთის, ხიმშის ან ნიკორწმინდის უნიკალურ ვენახებზე. შესაბამისად, ჩვენ უპრიანად ვთვლით მოვიშველიოთ ინფორმაცია ისეთი ქვეყნებიდან, რომლებიც რელიეფით საქართველოს მსგავსია და თანაც ვაზის კულტურის ისტორიული გამოცდილება გააჩნიათ. კერძოდ, განსაკუთრებით შესაფერისად მიგვაჩნია ვითარების ანალიზი შვეიცარიასა და სომხეთში, ქვეყნებში, რომლებიც საკმარისად ცნობილები არიან ღვინის პროდუქციით.

შვეიცარია. ამ პატარა სახელმწიფოში ვენახების საერთო ფართი შეადგენს 14 200ჰა. რაც ქვეყნის ფართობის საკმაოდ მცირე, 0.35%, ნაწილს შეადგენს. ვენახების საკმაოდ დიდი რაოდენობა (70-ზე მეტი) 10 ჰა-ზე მეტი ფართის არის. ამიტომ მოცემული მახასიათებლით საქართველო საკმაოდ ახლოს არის შვეიცარიასთან. სამაგიეროდ, შვეიცარია ცნობილია როგორც ტბების ქვეყანა, რომელთა შორისაც რამდენიმე ევროპის დიდი ტბების ათეულში შედის. აღსანიშნავია, რომ შვეიცარია წარმოადგენს მსოფლიოს მეოთხე ქვეყანას ერთ სულ მოსახლეზე ღვინის მოხმარების მაჩვენებლით. ამასთან მნიშვნელოვანია, რომ მოხმარებული ღვინის 35% ადგილობრივი წარმოებისაა. საინტერესოა, რომ განსაკუთრებული ხარისხით გამოირჩევიან ე.წ. „გერმანული შვეიცარიის“ ღვინოები. ამ რეგიონში არის სამი დიდი ტბა: ნევშატელი, ბერნი და მორა, რომელებიც ითვლებიან ადგილობრივი ზომიერი კლიმატის ფორმირების მთავარ ფაქტორად. აღსანიშნავია, რომ ამ მხარეში ხშირია ნისლი, რომლის წარმოქმნა პირდაპირ არის დაკავშირებული ბუნებრივი რეზერვუარებიდან წყლის აორთქლებასთან. ამიტომ, ლოგიკურია, რომ ადგილობრივი ჯიშის ვენახი შეგუებულია ლოკალურ კლიმატურ თავისებურებებს. თუმცა, ვითვალისწინებთ რა ასეთი დასკვნის სამართლიანობას, ობიექტურად უნდა აღინიშნოს, რომ იქაურმა ღვინომ არა თუ არ დაკარგა თავისი ღირსებები, უფრო მეტიც, ერთერთ საუკეთესოდ ითვლება ევროპაში.

სომხეთი. ამ ქვეყანაში ვენახების საერთო ფართი დაახლოებით შვეიცარიის ვენახების ფართის ტოლია 16000ჰა. ვენახები ძირითადად გაშენებულია ისეთ სიმაღლეებზე, რომლებიც აღემატებიან 600მ. სომხეთის კლიმატი, შვეიცარიის მსგავსად, კონტინენტალურია. ყველაზე საინტერესოა ვაიოცძორის რაიონი, სადაც ვენახს 940 ჰა. უჭირავს, თანაც მათი სიმაღლე ზოგან ძალიან მაღალია 850 – 1850 მ. გავრცელებული ჯიშებია არენი და ვოსკიატი, რომლებიც უძლებენ ასეთ კრიტიკულ ბუნებრივ პირობებს. საქართველოსთან შედარებისათვის განსაკუთრებით საინტერესოა სევანის ტბის სამხრეთით მდებარე ვარდენისის რაიონი, სადაც ვენახები გაშენებულია როგორც სამ ქედს შორის მდებარე კანიონებში, ასევე მაღალმთიან პლატოზეც. ბუნებრივია, რომ სევანის ტბის სიახლოვე, რომლის სარკის ფართი საკმაოდ დიდია, 1240 კმ², ხოლო აბსოლუტური სიმაღლე ზღვის დონიდან 1898 მ., კანიონებში აყალიბებს სპეციფიკურ მიკროზონას, რომელიც სრულიად შესაფერისი აღმოჩნდა ვენახისათვის [1].

საქართველო. ვენახების საერთო ფართი საქართველოში 36000 ჰა. რაც ჩვენი ტერიტორიის 0.5% შეადგენს. ამასთან, შვეიცარიასა და სომხეთთან განსხვავებით, საქართველოს ბუნებრივი ტბების სარკის ფართი მცირეა: S= 170 კმ². გარდა ამისა საქართველოში არის 44 ხელოვნური წყალსაცავი საერთო ფართით: S=163 კმ². შესაბამისად, საქართველოში არსებული ბუნებრივი და ხელოვნური წყლის რეზერვუარების სარკის ფართობი ჯამში მნიშვნელოვნად ნაკლებია როგორც შვეიცარიის, ასევე სომხეთის, იგივე მახასიათებელზე.

სომხეთისა და შვეიცარიის მაგალითი მოყვანილია იმისათვის, რომ მევენახეობაში ჩაუხედავ ადამიანს ზოგადი წარმოდგენა ჰქონდეს გარემოსთან ვაზის შემგუებლობის საკმაოდ მაღალ უნარზე. კერძოდ, ჩვენ განსაკუთრებულ აქცენტს ვაკეთებთ გარემოს ტენიანობაზე და ზღვის დონიდან ვენახის სიმაღლის ფაქტორზე. ამ თვალსაზრისით საქართველო, რომელიც უნიკალურია თავისი ლანდშაფტური მრავალფეროვნებით, მთლიანი ტერიტორიის ფართთან ვენახების ფართის მიმართებაში, გარკვეულ ანალოგიას მხოლოდ რამდენიმე ქვეყანასთან ამჟღავნებს. ამასთან, მოსახლეობაში ფართოდ გავრცელებული აზრი, რომ მევენახეობას სჭირდება უფრო კონტინენტალური (აღმოსავლეთ საქართველო), ვიდრე სუბტროპიკულთან მიახლოებული (დასავლეთ საქართველო), კლიმატი, მცდარია. თანაც, ჩვენი ვაზი, სომხურის მსგავსად, ამჟღავნებს გასაოცარ შემგუებლობას აბსოლუტურ სიმაღლესთან მიმართებაში. კერძოდ, საქართველოს მთიანეთში ვაზი გავრცელებულია ზემო იმერეთსა და რაჭაში 900 მ. სიმაღლემდე [2]. სომხეთში მისი არეალი თითქმის 2 კმ. სიმაღლეს აღწევს, თანაც მკაცრად კონტინენტალური კლიმატის პირობებში. ცხადია, რომ იზადება სრულიად კორექტული კითხვა: სომხეთსა და საქართველოში კლიმატი ხომ სრულიად განსხვავებულია? არა, მხოლოდ ნაწილობრივ. მაგალითად, რიონის ხეობა სიცივის თვალსაზრისით ფაქტიურად ისევე მკაცრია, როგორც სომხეთის ვარდენისის რაიონი. რაჭაში ჩვეულებრივია ტემპერატურის ვარდნა -10⁰-მდე, რასაც ალექსანდროულის ჯიში მარტივად უძლებს. თუმცა, ციცქასა და ცოლიკაურისათვის ასეთი დაბალი ტემპერატურა უკვე პრობლემურია. საინტერესოა ასევე რქაწითელის მაგალითი, რომელიც შესანიშნავად შეეგუა აზერბაიჯანის მთისპირეთის კლიმატს ისე, რომ ამ ჯიშის ყურმენი აზერბაიჯანში ზოგ ადგილას ორჯერ და უფრო მეტი ოდენობით მოდის, ვიდრე კახეთში. ჩვენთვის ცნობილი ინფორმაციით კახეთის რქაწითელისა და აზერბაიჯანის რქაწითელის ღვინომასალებში თვისობრივი განსხვავება საკმაოდ მცირეა. ბუნებრივია, რომ ჩვენ ვგულისხმობთ ფართო მოხმარების ღვინოს, და არა სამარკო ღვინოებს, რომელთაც ლოკალური სპეციფიკიდან გამომდინარე განსხვავებები გააჩნიათ. უფრო გასაგები რომ იყოს, შეგვიძლია მოვიყვანოთ ე.წ. კახურის (მველი კლასიფიკაციით 8 ნომერი) და ტიბანის (12 ნომერი) მაგალითი. ორივეს საფუძველია რქაწითელი [3], ხოლო საგემოვნო ნიუანსები შემოდის ლოკალური მიკროკლიმატიდან. ამ მხრივ ქართულსა და აზერბაიჯანულ 8 ნომერს შორის განსხვავება პრაქტიკულად არ არსებობს. თუმცა, არსებობს განსხვავება ბულგარეთში უკვე დიდი ხანია გავრცელებულ ადგილობრივად მოყვანილი რქაწითელის ღვინოსთან შედარებით. ამიტომ ვასკვნით, რომ მიკროკლიმატური თავისებურებები, პირველ მიახლოებაში მოქმედებენ არცთუ ისე, რომ მნიშვნელოვან საგემოვნო განსხვავებებს იძლეოდნენ ერთნაირი ოროგრაფიის მქონე ტერიტორიაზე გაშენებული ვენახების პროდუქციაში. ბუნებრივია, რომ ოროგრაფიის ეფექტი განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს ხეობებში. ამიტომ, არავითარ შემთხვევაში არ გამოვრიცხავთ, რომ მიკროკლიმატის ცვლილების ფაქტორი რიონის ხეობაში არის აქტუალური თემა. ცხადია, რომ, როგორც ამ, ისევე სხვა ხეობაში საჭიროა შეს-

წავლილი იყოს ამ ადგილების, თერმოდინამიკური სისტემის (ღია ან დახურული) მახასიათებლები. ქვემოთ მოყვანილია ღია თერმოდინამიკური სისტემის მახასიათებლები, რომლებიც ზოგადად წარმოადგენენ როგორც რეგიონალური კლიმატის, ასევე ლოკალური მიკროკლიმატის, განმსაზღვრელი ფიზიკური კრიტერიუმების ერთობლიობას.

დასკვნა: მიგვაჩნია, რომ ყველა დაინტერესებული პირი, რომელიც ჩვენი ინფორმაციით ისარგებლებს, არ დაეჭვდება, რომ ნამახვანჰესის მცირე სარკის მქონე წყალსაცავი ვერ გამოიწვევს ხეობის მიკროკლიმატის ისეთ ცვლილებას, რომელთან ადაპტაციას ადგილობრივი უნიკალური ალექსანდროულის ჯიშის ვაზი ვერ მოახერხებს ისე, რომ არ დაკარგოს გემოვნებითი ნიუანსები.

ლიტერატურა

- [1] Негруль А.М. Армянская ССР. Виноградарство и виноделие. //Москва, Колос, 1968, с. 392 - 510.
[2] ქანთარია ვ., რამიშვილი მ. მევენახეობა. // გამოც, მე-4, თბ., 1965.
[3] უჯმაჯურიძე ლ., კაკაბაძე გ., მამასახლიშვილი ლ. ქართული ვაზის ჯიშები. // თბ., 2018, გვ. 314.

RESERVOIRS AND PROBLEM OF VITICULTURE

Chkhitunidze M., Kirkitadze D., Kereselidze Z.

*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
marina_chkhitunidze@yahoo.com*

Abstract. In Georgia, ecologists believe that artificial reservoirs of hydropower facilities cause microclimatic changes of such a level that they have a negative impact on viticulture. However, there are practically no reliable data obtained on the basis of long-term observation of microclimatic influence on local grape varieties (at least, we could not find such information in open publications). Therefore, we believe that it is wrong to discuss the negative expectations that may happen in a vague perspective of time, based only on public discussions related to this topic, without examples reinforced by correct research.

Key words: viticulture, microclimate.

მევენახეობის რეგიონებში ბორდოს ხსნარით შენახვის გავლენა ეკოლოგიაზე

*მესტვირიშვილი შ., **ზენაშვილი მ., *კოდუა მ., ***კიკაბიძე კ., ***იაშვილი ნ.

**საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო
**საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო
***საქართველოს საინჟინრო აკადემია, თბილისი, საქართველო
Mestvirishvilishota01@gtu.ge*

ანოტაცია: ნაშრომში განხილულია ბორდოს ხსნარით ვენახების შეწამვისას რა თანმდევი პროცესები მიმდინარეობს, მოცემულია სეტყვის ქიმიური ანალიზი და მასზე დაყრდნობით გამოტანილია ორი მნიშვნელოვანი დასკვნა: 1. ბორდოს ხსნარი წვეთების ღრუბლებში მოხვედრისას მასში არსებული ელექტროლი ველის გავლენით გადაიქცევა კრისტალიზაციის ცენტრებად, რომლებიც აჩქარებს სეტყვის წარმოქმნას და ანადგურებს მოსავალს; 2. წარმოქმნილი კრისტალიზაციის ცენტრები კი წარმოადგენენ ძლიერ საწამვლავს, რომელიც სეტყვასთან ერთად ჩამოდის დედამიწაზე, იწამლება გარემო და მოსახლეობა. ასევე ნაჩვენებია შესაწამელი აპარატის ნახაზი, რომელიც ბორდოს ხსნარის ჰაერში უმიზნოდ გაბნეულ წვეთებს აპარტშივე დააბრუნებს რაც დიდი რაოდენობით ბორდოს ხსნარს დაზოგავს და გაბნეული წვეთებიც აღარ მოხვდება სეტყვის წარმოქმნის ზონაში. ეს კი აგვაცილებს სავარგულების დასეტყვას და საწამვლავის მოხვედრას მოსახლეობაში.

საკვანძო სიტყვები: სეტყვა, ბორდოს ხსნარი, კოაგულაცია, შეწამვა.

ვაზის მოვლის პროცესი საგრძნობლად შრომატევადია და მრავალ კომპონენტს შეიცავს, მათ შორის შეწამვა ბორდოს ხსნარით მნიშვნელოვანია. ვენახის 1 ჰას შეწამვლას დაახლოებით 1 ტონა ბორდოს ხსნარი ესაჭიროება. ვინაიდან კახეთში ვენახების საერთო ფართი 80000 ჰას აღემატება, ვაზის მოვლას ყოველწლიურად კახეთში შეწამვისას მილიონობით კგ ბორდოს ხსნარი გაიხნევა, რომელს შემადგელობაშიც ძირითადად არის შაბიამანი- Cu SO_4 და კირი. გაფრქვევული ბორდოს ხსნარის ნაწილი ესხურება ვაზს, საგრძნობლად დიდი ნაწილი კი თბილი ჰაერის აღმავალ ნაკადს მიაქვს ატმოსფეროს სხვადასხვა ფენებში (სურათი 1).

განსაკუთრებული ყურადღება გვინდა გავამახვილოთ ბორდოს ხსნარის იმ ნაწილზე, რომელიც ხვდება ატმოსფეროს ზედა ფენაში, სადაც ხდება სეტყვის ფორმირება. სეტყვის წარმოქმნის მექანიზმი განხილულია [1]-ში, მასში ასევე მოცემულია სეტყვის ქიმიური ანალიზი, რომელიც ჩატარდა თელავის რაიონის სოფელ აკურის ტერიტორიაზე მოსულ სეტყვაზე. ნიმუშები აღებული იქნა ვენახებიდან მოშორებით, რათა შეწამვის ძველ ნარჩენებს გავლენა არ მოეხდინა ქიმიური ანალიზის შედეგზე. სეტყვის ქიმიურმა ანალიზმა აჩვენა, რომ მასში აღმოჩნდა დიდი რაოდენობით Cu -ისა და SO_4 - ის იონები, რომლებიც კრისტალიზაციის ცენტრებია.



სურ. 1. ვენახის შეწამლის პროცესი.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, სეტყვის წარმოქმნის პროცესში მათ მნიშვნელოვანი როლი აქვთ. ქიმიური ანალიზის შედეგად სეტყვაში აღმოჩენილი იონები კი, Cu და SO₄, ორივე ძლიერი საწამლავია. აღნიშნული იონები სეტყვასა და წვიმის წვეთებთან ერთად დედამიწას უბრუნდება, სეტყვა მექანიკურად ანადგურებს მოსავალს, გადნობის შემდეგ კი წამლავს გარემოს, მათ შორის, ადგილობრივ მოსახლეობას. ნათლად ჩანს, რომ ვენახების შეწამლისას განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს ბორდოს ხსნარის იმ ნაწილს, რომელიც ვაზს ასცდება და ღრუბელში მოხვედრის შემდეგ გარდაიქმნება სეტყვად, ის ნაწილი კი, რომელიც ჰაერის აღმავალ დინებას ღრუბლებში მიაქვს, მაგრამ მონაწილეობას არ იღებს სეტყვის წარმოქმნაში, ასევე ხვდება ელექტრულ ველში და გარდაიქმნება საწამლავად, რომელიც მთელ მევენახეობის რეგიონს ეფინება და წამლავს რეგიონს. აღნიშნულიდან გამომდინარე, რომ მარტო სეტყვის წინააღმდეგ კი არ არის საჭირო ბრძოლა, არამედ ბორდოს ხსნარის სწამლავად გადაქცევის წინააღმდეგაც. ე.ი ამისათვის როგორც სეტყვის, ისე ბორდოს ხსნარის საწამლავად გადაქცევის წინააღმდეგ ბრძოლა უნდა დავიწყოთ ვენახის შეწამლისას. საქპატენტში ჩვენ მიერ წარდგენილია განაცხადი შესაწამლი აპარატის გამოგონების შესახებ და მასზე პატენტის გაცემის თაობაზე. ეს აპარატი მაქსიმალურად შეამცირებს ბორდოს ხსნარის უმიზნოდ გაბნევას და მას დააბრუნებს უკან ბორდოს ხსნარის ავზში შემდეგ გასაფრქვევად, ეს კი მოგვცემს ბორდოს ხსნარის ეკონომიასაც. ასევე, შემცირდება კრისტალიზაციის ცენტრების სეტყვის წარმოქმნის ზონაში მოხვედრა, რაც თავის მხრივ ორმაგ ეფექტს მოგვცემს: ერთდროულად გადაწყდება სეტყვის პრობლემა და Cu და SO₄ აღარ წარმოიქმნება.

ლიტერატურა

- [1] Mestvirishvili Sh.A. O prichine uvelicheniya chastoty gradobitiiy v vinogradarskikh rayonakh. // Soob. Akad. Nauk Gruzii, 140, N 2, 1990, (in Russian).
- [2] Mestvirishvili Sh., Kodua M., Benashvili M. Effect of Bordeaux Mixture on the Origin of Hail. // Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, v. 26(1), 2023, pp.63-66.

IMPACT OF THE BORDEAUX CUPPER ON THE ENVIRONMENT OF THE VINERY REGION

*Mestvirishvili Sh., **Benashvili M., *Kodua M., ***Kikabidze K., ***Iashvili N.

**Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia*

***Agricultural University of Georgia, Tbilisi, Georgia*

****Engineering Academy of Georgia, Tbilisi, Georgia*

Mestvirishvilishota01@gtu.ge

Abstract. This study reveals what are the consequences of spraying vineyards using Bordeaux copper spray. Hail chemical analysis is discussed and based on it two major conclusions are discussed: 1. Bordeaux copper spray when entering the clouds will turn into crystallization centers under the influence of the electric field, which accelerates hail formation. 2. Emerging crystallization centers represent a powerful poison, which comes on earth with hail and the environment and the population are poisoned. Also, a drawing of the sprayer machine is shown. This machine will return Bordeaux copper spray aimlessly scattered into the air, which saves a large amount of spray and the scattered droplets will no longer get into the hail generating zone. This will subsequently prevent us from hailing the agricultural plots and getting poison into the population.

Key words: Hail, Bordeaux copper spray, Coagulation, Spraying.

**“HOVENIA DULCIS THUNB”. გენერაციული ორგანოების ხარისხობრივი მაჩვენებლების
ანალიზი და მათი ფარმაკოლოგიური მნიშვნელობა**

***კიკნაძე ნ., *ცინცაძე ლ., **სეიდიშვილი ნ., *მეტრეველი მ., *კუჭავა მ., *გოგიტიძე თ.**

**ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ბათუმი, საქართველო*
***ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის აგრარული და მემბრანული ტექნოლოგიების ინსტიტუტი,*
ბათუმი, საქართველო
nino.kiknadze@bsu.edu.ge

ანოტაცია. ჩატარებულია აჭარის ზღვისპირეთში გავრცელებული კანფეტის ხის (Hovenia dulcis Thunb.) ნაყოფებისა და თესლების ძირითადი ხარისხობრივი მაჩვენებლების კვლევა, მათი მედიკო-ბიოლოგიური მნიშვნელობის დადგენის მიზნით. განხორციელდა მცენარის ნაყოფებისა და თესლების ხარისხობრივი მაჩვენებლების კვლევა ბოტანიკური ბაღის, მწვანე კონცხის, ბენზეს დასახლების და ორთაბათუმის ლოკაციებზე. ექსპერიმენტული მონაცემებით დადგინდა, რომ წყლის, მშრალი და ექსტრაქტული ნივთიერებების, საერთო შაქრების, ტანინის, ვიტამინი C-ს, ცხიმუხვების, ნედლი პროტეინის, პექტინის შემცველობით საუკეთესო იყო ბოტანიკური ბაღის ლოკაციაზე აღებული ნიმუშები. ელემენტებიდან დომინანტებია K, Ca, რომელთა ჯამი შეადგენს განსაზღვრული მაკროელემენტების პრაქტიკულად 70%-ს. კანფეტის ხის ნაყოფებსა და თესლებში მიკროელემენტები განლაგებულია რიგში: Fe > Cu > Mn > B > Ni, Zn. კვლევების საფუძველზე შესაძლებელია რეკომენდაცია მიეცეს Hovenia dulcis Thunb. ნაყოფების წყლიანი ექსტრაქტის და თესლებისგან მიღებული ფხვნილის გამოყენებას სხვადასხვა ნაყენების სახით, რომლებსაც გააჩნიათ ანტიოქსიდანტური, ანტიმიკრობული, მასტიმულირებელი და სხვა ფარმაკოლოგიური თვისებები.

საკვანძო სიტყვა: ჰოვენია; მორფოლოგია; განვითარება; ხარისხობრივი მაჩვენებლები.

აქტუალობა. ტკბილი ჰოვენია არის ფოთლომცვენი 10-დან 30 მეტრამდე სიმაღლის ხე. მისი ბუნებრივი გავრცელების არეალს წარმოადგენს აღმოსავლეთ ჩინეთი, იაპონია, კორეა, სხვა ქვეყნებში ინტროდუცირებულია. საუკუნეების წინ იყო ცნობილი მისი სამკურნალო თვისებები, რომლებიც აქტიურად გამოიყენება ხალხურ მედიცინაში, კერძოდ: გაციების ინფექციების, დაქვეითებული იმუნიტეტის, ღვიძლის დაავადებების, სისხლძარღვების დაავადებების, ალკოჰოლიზმის სამკურნალოდ, ნევროლოგიური ტკივილების მოსახსნელად. გამოირჩევა ანტისიმსივნური მოქმედებით, გამოდევნის ორგანიზმიდან ტოქსინებს, გამოიყენება საკონდიტრო მიზნებით, საკვებად, დეკორატიულ მებაღეობაში. ევროპაში მე-20 საუკუნიდან არის კულტივირებული, აჭარის ზღვისპირეთში ვხვდებით მის ცალკეულ ნარგაობებს, რომელთა ხნოვანება 100 წელს მეტს ითვლის. სამწუხაროდ, ეს მცენარე მეცნიერულად სრულყოფილად არ არის შესწავლილი. სწორედ ამ აქტუალურმა საკითხებმა განაპირობა ჩვენი ინტერესი მის მიმართ.

კვლევის მიზანს წარმოადგენდა ტკბილი ჰოვენიას მორფოლოგიური ნიშნების, ზრდისა და განვითარების ფენოფაზების, ნაყოფებისა და თესლების ძირითადი ხარისხობრივი მაჩვენებლების შესწავლა-შეფასება და ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე, მათი შედარებითი დახასიათება, სამედიცინო-ბიოლოგიური მნიშვნელობის დადგენის მიზნით.

კვლევის ამოცანებს წარმოადგენდა ჰოვენიას მორფოლოგიური ნიშნების, ზრდის, ვეგეტატიური, გენერაციული განვითარების შესწავლა, მთავარი ფენოფაზის - ნაყოფმსხმოიარობის ხარისხის დადგენა;

საკვლევ ობიექტებში ხარისხობრივი პარამეტრების განსაზღვრა (მჟავიანობა; ექსტრაქტი; ვიტამინი C; ტანინი; საერთო შაქრები; ცხიმოვანები, ნედლი პროტეინი; პექტინი; ნაყოფების და თესლების ელემენტური ანალიზი).

კვლევის ობიექტები იყო ტკბილი ჰოვენის ხე-მცენარის თესლები და ნაყოფები, აღებული შემდეგ ლოკაციებზე: 1. ბოტანიკური ბაღი; 2. მწვანე კონცხი; 3. ბენზეს დასახლება; 4. ორთაბათუმი.

გამოყენებული მეთოდები: ფენოლოგიური დაკვირვების მეთოდი [1]; გრავიმეტრული და ტიტრირებული ანალიზი [2, 3, 4, 5]; ნაყოფების და თესლების მულტიელემენტური ანალიზი ტარდებოდა პლაზმური ატომურ-ემისიური სპექტრომეტრით ხელსაწყო ICPE-9820-ზე [6].

კვლევის შედეგები. აჭარის ზღვისპირეთის ნიადაგურ-კლიმატურ პირობებში მზარდი ჰოვენის ზოგად მორფოლოგიურ თავისებურებებსა და ზრდა-განვითარების პროცესზე დაკვირვება მიმდინარეობდა კლასიკური (ბეიდმანის) მეთოდით [7]. დადგინდა, რომ ჰოვენის კოკრების მასიური დაბერვა იწყება თებერვლის ბოლოს-მარტში, რაც ჰაერის ტემპერატურაზე დამოკიდებული. გაშლა იწყება მარტის მესამე დეკადიდან. აპიკალური ზრდა კი – მარტის ბოლოს და გრძელდება ივლისამდე. შეფოთვლა იწყება მარტის ბოლოს-აპრილის დასაწყისში. ფოთოლცვენა ნოემბრის მეორე ნახევრიდან იწყება და დეკემბრის თვის განმავლობაში მიმდინარეობს. ყვავილობა მასიურია ივნისის თვეში, ნაყოფები ივლისში უკვე გამოწვავილია, რომელიც მომწიფებას იწყებენ ოქტომბერ-ნოემბრიდან (ცხრილი 1).

ცხრილი 1. *Hovenia dulcis* - ის ზრდა-განვითარების ძირითადი ფაზების ფენოსპექტრი.

სახეობა	ფენოფაზა	თვე											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Hovenia dulcis</i> <i>Tnunb.</i>	ვეგეტაციის ხანგრძლივობა												
	ყვავილობა												
	ნაყოფისა და თესლის მომწიფების პერიოდი												

მჟავიანობის მაჩვენებლები უმნიშვნელო იყო ჰოვენის ნაყოფებში ოთხივე ლოკაციაზე (0,65-0,85%), ხოლო თესლებში ის 1,7-3,7-ჯერ მეტია და ყველაზე მაღალია ბენზეს ლოკაციაზე. ექსტრაქტული ნივთიერებების მაღალი შემცველობით გამოირჩეოდა ბოტანიკური ბაღის და მწვანე კონცხის ლოკაციებზე აღებული ჰოვენის ნაყოფები - 25-26% (ცხრილი 2). ნაყოფებში საერთო შაქრების მაღალი შემცველობა დაფიქსირდა ბოტანიკური ბაღის ლოკაციაზე-41,8%, სხვა ლოკაციებზე 2-6,1%-ით ნაკლები იყო და მინიმალური შემცველობა დაფიქსირდა ბენზეს ლოკაციაზე [8]. ტანინის შემცველობა ჰოვენის თესლებში 6,7-9,32-ჯერ აღემატებოდა ნაყოფებში მის შემცველობას. ტანინის მაღალი შემცველობით თესლებში გამოირჩეოდა ბოტანიკური ბაღის და მწვანე კონცხის ლოკაციები-20,37-22,31%.

ცხრილი 2. მჟავიანობის, წყლის, მშრალი და ექსტრაქტული ნივთიერებების შემცველობა *Hovenia dulcis* -ის ნაყოფებსა და თესლებში

№	ლოკაცია	მჟავიანობა, %	ექსტრაქტული ნივთიერებების შემცველობა, %
1	ბოტანიკური ბაღი	0,65/1,14	26,0
2	მწვანე კონცხი	0,75/2,8	25,0
3	ბენზეს დასახლება	0,85/2,5	22,0
4	ორთაბათუმი	0,69/1,4	23,4

შენიშვნა: მრიცხველში - ნაყოფები; მნიშვნელში - თესლი

რაც შეეხება ჰოვენის ნაყოფებს, მათში ტანინის შემცველობა შეადგენდა 1,7-2,5%-ს. ვიტამინის C-ს შემცველობით განსაკუთრებით მდიდარია ბოტანიკური ბაღის ჰოვენის ნაყოფებში-51,6%, ხოლო ბენზეს ლოკაციაზე ეს მაჩვენებელი 1,13-ჯერ ნაკლები იყო. კანფეტის ხის თესლებში ცხიმზეთების შემცველობა მაღალი იყო ბოტანიკური ბაღის ლოკაციაზე-14,50%, ბენზეს ლოკაციაზე კი მათი შემცველობა 2,83%-ით ნაკლები იყო. ბოტანიკური ბაღის Hovenia-ს ნაყოფებში ნედლი პროტეინის რაოდენობა შეადგენდა 5,2%-ს, ბენზეს ლოკაციაზე-3,2%-ს, ანუ 1,6-ჯერ ნაკლებს [9]. მსგავსად ნედლი პროტეინისა, ბოტანიკური ბაღის Hovenia-ს ნაყოფებში პექტინის შემცველობა 1,7-ჯერ მეტი იყო ბენზეს Hovenia-ს ნაყოფებთან შედარებით (ცხრილი 3).

ცხრილი 3. ძირითადი ხარისხობრივი მაჩვენებლების შემცველობა Hovenia dulcis -ის ნაყოფებსა და თესლებში.

№	ლოკაცია	შაქრები ნაყოფში %	ტანინი %	ვიტამინი C ნაყოფებში	ცხიმები თესლში %	საერთო აზოტი ნაყოფში %	ნედლი პროტე- ინი ნაყოფში %	საერთო პექტინი ნაყოფში %
1	ბოტანიკური ბაღი	41,8	<u>2,5</u> 22,31	51,6	14,50	0,5	5,2	2,34
2	მწვანე კონცხი	39,8	<u>2,3</u> 20,37	48,5	-	-	-	-
3	ბენზეს დასახლება	35,7	<u>1,7</u> 14,55	45,6	11,67	0,5	3,2	1,37
4	ორთაბათუმი	37,1	<u>2,0</u> 18,64	49,8	-	-	-	-

Hovenia-ს ნაყოფებს და თესლების მულტიელემენტური ანალიზით დადგინდა: Al-ის შემცველობა ნაყოფებში შეადგენდა 10,8-24,9მგ/კგ, ხოლო თესლებში ის აღმოჩნდა მხოლოდ ბენზეს ლოკაციაზე-0,0177მგ/კგ. მაკროელემენტებიდან, დომინანტებია K, Ca, რომელთა ჯამი შეადგენს განსაზღვრული მაკროელემენტების პრაქტიკულად 70%-ს. Mg-ის შემცველობა ნაყოფებში 1,7-3,06-ჯერ მეტია თესლებთან შედარებით და მისი მაქსიმალური შემცველობა დაფიქსირდა ბოტანიკური ბაღის და ორთაბათუმის ლოკაციებზე. ფოსფორის კონცენტრაცია მაქსიმალურია ბოტანიკურის ბაღის ლოკაციაზე: ნაყოფში – 1672მგ/კგ, თესლებში – 866მგ/კგ, ხოლო მისი მინიმალური შემცველობაა - ბენზეს ლოკაციაზე. თესლებში Si-ის შემცველობა 2,6-7,1-ჯერ აღემატება ნაყოფებში მათ შემცველობას. კანფეტის ხის ნაყოფებსა და თესლებში მიკროელემენტები შემცველობის, მიხედვით, განლაგებულია შემდეგნაირად: Fe>Cu>Mn>B>Ni,Zn. რკინით მდიდარია ნაყოფები, რომლებშიც მისი შემცველობა 5,2-7,7-ჯერ მეტია თესლებში მის შემცველობაზე. B-ის, Cu-ის, Mn-ის, Ni-ის კონცენტრაციები ასევე მეტია ნაყოფებში თესლებთან შედარებით. მწვანე კონცხის და ბენზეს ლოკაციებზე ნაყოფებში Zn-ის კონცენტრაცია შეადგენდა შესაბამისად 0,065-0,0037მგ/კგ, მაშინ როცა თესლებში არცერთ ლოკაციაზე არ დაფიქსირებულა (ცხრილი 4).

ცხრილი 4. მაკროელემენტები, მგ/კგ.

№	ლოკაცია	Al	Ca	K	Mg	Na	P	Si
1	ბოტანიკური ბაღი	<u>10,8</u> -	<u>1644</u> 3560	<u>6390</u> 4110	<u>337</u> 110,0	<u>143</u> 68,9	<u>1672</u> 866	<u>6,06</u> 49,5
2	მწვანე კონცხი	<u>19,6</u> -	<u>1394</u> 3060	<u>5385</u> 3150	<u>174</u> 81,5	<u>80,8</u> 26,7	<u>1498</u> 548	<u>13,5</u> 96,2
3	ბენზეს დასახლება	<u>24,9</u> 0,0177	<u>2240</u> 2880	<u>5520</u> 2759	<u>134</u> 75,5	<u>62,8</u> 19	<u>759</u> 392	<u>82,8</u> 221
4	ორთაბათუმი	<u>14,4</u> -	<u>2660</u> 3040	<u>5745</u> 3225	<u>186</u> 94,9	<u>115</u> 37,6	<u>1570</u> 680	<u>9,78</u> 63,8

მიკროელემენტები, მგ/კგ

№	ლოკაცია	As	B	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
1	ბოტანიკური ბაღი	-	<u>1,21</u> 0,372	<u>3,22</u> 0,13	<u>9,8</u> 1,26	<u>3,40</u> 2,68	<u>0,187</u> 0,0836	<u>0,714</u> -
2	მწვანე კონცხი	<u>0,0037</u> -	<u>1,28</u> 0,884	<u>1,64</u> -	<u>8,13</u> 1,162	<u>2,17</u> 1,31	<u>0,029</u> 0,0141	<u>0,219</u> -
3	ბენზე	<u>0,065</u> -	<u>1,25</u> 0,813	<u>2,17</u> -	<u>6,59</u> 1,06	<u>1,94</u> 0,171	<u>0,0414</u> -	<u>0,0425</u> -
4	ორთაბათუმი	-	<u>1,17</u> 0,769	<u>2,20</u> 0,119	<u>6,65</u> 1,18	<u>3,26</u> 2,59	<u>0,054</u> 0,0791	<u>0,233</u> -

შენიშვნა: მრიცხველში - ნაყოფები; მნიშვნელში - თესლი

დასკვნა. დადგენილია, რომ *Hovenia dulcis* Thunb. საკვლევი მცენარეები აჭარის ზღვისპირეთის ნიადაგურ-კლიმატურ პირობებში გადიან სრულ ვეგეტატიურ და გენერაციულ განვითარებას. მათ ახასიათებთ აქტიური ზრდის პროცესი, მასიური შეფოთვლა, ყვავილობა და ნაყოფმსხმოიარობა. წყლის, მშრალი და ექსტრაქტული ნივთიერებების, საერთო შაქრების, ტანინის, ვიტამინი C-ს, ცხიმოვანების, ნედლი პროტეინის, პექტინის შემცველობით საუკეთესოა ბოტანიკური ბაღის ლოკაციაზე აღებული ნაყოფები და თესლები. ორგანული ნივთიერებების 80%-ზე მეტს ნაყოფებში შეადგენს ვიტამინი C და შაქრები. კალიუმის და კალციუმის ჯამი შეადგენს განსაზღვრული მაკროელემენტების 70%-ს. კანფეტის ხის ნაყოფებსა და თესლებში მიკროელემენტების შემცველობის დადამავალი რიგია: Fe > Cu > Mn > B > Ni, Zn. რკინით მდიდარია განსაკუთრებით ნაყოფები, რომლებშიც მისი შემცველობა 5,2-7,7-ჯერ მეტია თესლებში მის შემცველობაზე.

ლიტერატურა

- [1] ფრუიძე მ., ბენდელიანი ე. სუბტროპიკული კულტურების წარმოების ტექნოქიმიური კონტროლის პრაქტიკუმი (სახელმძღვანელო). // ქუთაისი, 2012, გვ. 6-126.
- [2] ალექსიძე ნ. ზოგადი ბიოქიმიის საფუძვლები (მესამე გამოცემა). // თბილისი, თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2005, გვ. 164-166.
- [3] ხარკვეიძი დ.ა. ფარმაკოლოგია (მეექვსე გამოცემა). // [რედ.: ნელი ანთელავა, ნიკოლოზ გონგაძე, თამარ კეზელი, მაია ოკუჯავა]. თბილისი: სტუ-ს გამომცემა, 2008. გვ. 621-624.
- [4] ერისთავი ლ. ფარმაკოგნოზია (სამკურნალო მცენარეები).// თბილისი: საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია, 2005, გვ. 548-557.
- [5] გახოვიძე რ., ტაბატაძე ლ. კვების პროდუქტთა ქიმია. // თბილისი: გამომცემლობა „უნივერსალი“, 2016, გვ. 156-187.
- [6] <https://www.shimadzu.com/an/products/elemental-analysis/inductively-coupled-plasma-emission-spectroscopy/icpe-9800-series/index.html>
- [7] Бейдеман И.Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. // Новосибирск, «Наука», 1974, 154 стр.
- [8] ГОСТ 8756.13-87 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров (Fruit and vegetable products. Methods for determination of sugars). // Москва: Стандартинформ, 2010, 11стр.
- [9] ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырьё. Методы определения содержания азота и сырого протеина. // Москва: Стандартинформ, 2019, 23 стр.

ANALYSIS OF QUALITATIVE INDICATORS OF GENERATIVE ORGANS OF “HOVENIA DULCIS THUNB“ AND THEIR PHARMACOLOGICAL SIGNIFICANCE

*Kiknadze N., *Tsintsadze L., **Seidishvili N., *Metreveli M., *Kuchava M., *Gogitidze T.

**Batumi Shota Rustaveli State University, Batumi, Georgia*

***Institute of Agrarian and Membrane Technologies at the Batumi Shota Rustaveli State University,*

Batumi, Georgia

nino.kiknadze@bsu.edu.ge

Abstract. The morphological characteristics of the Raisin tree (Hovenia dulcis Thunb.), widespread on the coast of Adjara, were studied; Features of growth and development. The study of the main quality indicators of fruits and seeds was carried out: in the settlements of the Botanical Garden, Mtsvane Kontskhi, the villages of Benze and Ortabatumi in order to determine their medical and biological significance. According to experimental data, it was established that the best content extractive substances, total sugars, tannins, vitamin C, fatty oils, crude protein and pectin were samples taken on the territory of the botanical garden. Among the macroelements, K and Ca predominate. In the fruits and seeds of the Raisin tree, microelements are arranged in descending order: Fe > Cu > Mn > B > Ni, Zn. On the basis of research, it is possible to recommend the use water extract of fruits and powder obtained from the seeds of Hovenia dulcis Thunb., in the form of various tinctures with antioxidant, antimicrobial, stimulating and other pharmacological properties.

Keywords: Hovenia, morphology, growth, Qualitative indicators.

აჭარისწყლის ხეობის ბუნებრივი ჰაბიტატების კონსერვაციული ღირებულება და შუახევისის მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგების დაბინძურების შეფასება

გვარიშვილი ნ., კიკნაძე ნ., აბულაძე თ., თავდგირიძე გ.

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ბათუმი, საქართველო
gvarishvili.nana@bsu.edu.ge

ანოტაცია. მდ.აჭარისწყლის ხეობის მიმდებარე ტერიტორიები რეფუგიაშია მესამეული ტენის მოყვარული კოლხური რელიქტური ტყეების ეკოსისტემებისთვის, რომლებსაც UNESCO-ს მსოფლიო ბუნებრივი მემკვიდრეობის სტატუსი მიენიჭა. ხეობაში ამჟამად მიმდინარე დერივაციული ტიპის კასკადური ჰესების მშენებლობა და ექსპლუატაცია, ქმნის ბუნებრივი ჰაბიტატების ფრაგმენტაციის, განადგურებისა და დაკარგვის საშიშროებას. აჭარისწყლის ხეობაში დღეს არსებული ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასების მიზნით, წინასწარ შერჩეულ ლოკაციებზე განხორციელებულია ეკოსისტემების ბიომრავალფეროვნების ფონური შესწავლა. კვლევები ჩატარებულია დაბა შუახევის, შუახევისის წყალშემკრები ნაგებობის და შუახევისის ლოკაციებზე. გამოვლენილია ნიადაგების გატუტანება შუახევისის წყალშემკრებთან და შუახევისთან. ნიადაგები ღარიბია ჰუმუსით და აზოტით. As, Ba, Cd, Pb-ით დაბინძურების საშიშროება მეტა 1-ზე შუახევისის წყალშემკრებ და შუახევისის ლოკაციებზე; Mo, Zn-ით დაბინძურებისა – შუახევისთან, Mn-ით – ყველა ლოკაციაზე.

საკვანძო სიტყვა: ტყის ეკოსისტემები, ნიადაგის ნაყოფიერება, დაბინძურება, მულტიელემენტური ანალიზი

აქტუალობა. აჭარის უნიკალურობით გამორჩეული კოლხური ტყის ეკოსისტემების მცენარეულობა იშვიათი ენდემებითა და რელიქტებით არის წარმოდგენილი. ბუნებრივ ლანდშაფტებზე ანთროპოგენული ფაქტორების ზემოქმედებით ფიტოცენოზები კრიტიკულ დონემდე მცირდება. ის ეკოსისტემები ზარალდებიან, რომლებიც ნაკლებად მდგრადი არიან ადამიანის ზემოქმედებისადმი. სწორედ ასეთია კოლხეთის რელიქტური ტყეების მცენარეულობა, რომელიც განვითარებულია მთიანი აჭარის ხევებსა და ხეობებში [1, 5]. აჭარისწყლის ხეობაში ამჟამად მიმდინარე დერივაციული ტიპის კასკადური ჰესების მშენებლობა მოითხოვს დატოვას, მომიჯნავე ტყიანი მონაკვეთების გაჩეხვას, დერივაციული გვირაბების მშენებლობას. ჰესების ექსპლუატაციის პერიოდში, მოსალოდნელია ბუნებრივი ჰაბიტატების ბიოგეოქიმიური ციკლების დარღვევა, მძიმე მეტალებით გარემოს დაბინძურება [4]. სწორედ ამ აქტუალურ პრობლემას ეძღვნება ნაშრომი.

კვლევის მიზანი იყო მდ.აჭარისწყლის ხეობის ბიომრავალფეროვნების ფონური შესწავლა, არსებული ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასების მიზნით; ნიადაგის ნაყოფიერების ძირითადი მაჩვენებლების განსაზღვრა; ნიადაგის ელემენტური შედგენილობის დადგენა.

კვლევის ამოცანებს წარმოადგენდა შერჩეულ ლოკაციებზე ჰაბიტატების კონსერვაციული ღირებულების განსაზღვრა; ნიადაგის მულტიელემენტური და აგროქიმიური ანალიზი; ნიადაგის დაბინძურების საშიშროების კოეფიციენტის დადგენა.

რეკომენდირებული კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა მდ.აჭარისწყლის მიმდებარე ტერიტორიების ბუნებრივი ჰაბიტატები. ნიადაგის ნიმუშების აღება მოხდა დაბა შუახევის, შუახევისის წყალშემკრები ნაგებობის მიმდებარე ტერიტორიისა და შუახევისის ლოკაციებზე.

გამოყენებული მეთოდები: ნიადაგის ანალიზს ვაწარმოებდით ფართოდ აპრობირებული *მეთოდებით* [3]. მულტიელემენტური ანალიზი ტარდებოდა პლაზმური ატომურ-ემისიური სპექტროსკოპით ICPE-9820-ზე [7]. ჩავატარეთ რეკონსტრუირებული კვლევა აღნიშნულ ტერიტორიაზე ტყის ცენოტიპების იდენტიფიკაციის მიზნით [8].

კვლევის შედეგები. მთიანი აჭარის ტყეები მნიშვნელოვანი ჰაბიტატებია ბიომრავალფეროვნებისთვის. აქ არსებული ხეობები რეფუგიუმია იმ მესამეული ტენის მოყვარული კოლხური რელიქტური ტყეების ეკოსისტემებისთვის, რომლებსაც UNESCO-ს მსოფლიო ბუნებრივი მემკვიდრეობის სტატუსი მიენიჭა [6]. როცა ისინი ხვდებიან კასკადური ტიპის დერივაციული ჰესების მშენებლობის და ექსპლუატაციის არეალში, ექმნებათ ეკოლოგიური წონასწორობის რღვევის საფრთხე. საკვლევ ტერიტორიაზე არსებული ბიომრავალფეროვნების ფონური შესწავლისა და ლიტერატურული წყაროების დამუშავების შედეგად, გამოვლენილია მაღალი და საშუალო კონსერვაციული ღირებულების ძირითადი ბუნებრივი ჰაბიტატები.

საკვლევ ტერიტორია მდიდარია მცენარეთა ენდემური სახეობებით, აქ წარმოდგენილია საქართველოს, აჭარის, აჭარა-ლაზეთის, კოლხეთისა და კავკასიის ენდემები (ცხრილი 1). აქ დაფიქსირებულია საქართველოს წითელ ნუსხაში შეტანილი სახეობები, რომელთაგან მოწყვლადი სახეობებია: *Castanea sativa* Mill., *Buxus colchica* Pojark., *Juglans regia* L., *Quercus hartwissiana* Steven, *Ulmus glabra* Huds., *Taxus baccata* L., *Staphylea colchica* Steven, *Osmanthus decorus* (Boiss. & Balansa) Kasapligil, გადაშენების საფრთხის წინაშე მდგომი სახეობები: *Astragalus sommieri* Freyn, *Arbutus andrachne* L., *Ostrya carpinifolia* Scop [1, 2].

ცხრილი 1. აჭარისწყლის ხეობის ენდემური სახეობები.

ენდემური სახეობები			
საქართველოს ემდემები	აჭარა-ლაზეთის ენდემები	კოლხეთის ენდემები	კავკასიის ენდემები
<i>Galanthus woronowii</i> Losinsk	<i>Quercus petra</i> var. <i>dshorochensis</i> (c. Koch)	<i>Ficus carica</i> L.	<i>Digitalis ferruginea</i> L.
<i>Cirsium caput-medusae</i> Sommier & Levier	<i>Amaracus rotundifolius</i> (Boiss.) Briq	<i>Hedera colchica</i> (K.Koch) K.Koch	<i>Helleborus caucasicus</i> A. Braun
<i>Cirsium imereticum</i> Boiss	<i>Linaria adzharica</i> Kem	<i>Staphylea colchica</i>	<i>Tilia caucasica</i> Rupr.
<i>Alcea transcaucasica</i> (Iljin ex Grossh.) Iljin	<i>Cyclamen adzharicum</i> Pobed	<i>Buxus colchica</i> Pojark.	
<i>Rubus woronowii</i> Sudre	<i>Astragalus sommieri</i> Freyn	<i>Cornus sanguinea</i> L.	
	<i>Osmanthus decorus</i> (Boiss. & Bal.)		
	<i>Erysimum contractum</i> Somm. et Levier		
	<i>Centaurea adzharica</i> Sosn.		

ნიადაგების სახნავ 0–40სმ ფენაში pH 7.46–8.60–ია. შუახევჭესის წყალშემკრების და შუახევჭესის ლოკაციებზე ნიადაგების რეაქცია გადახრილია ტუტე არეში, კერძოდ pH შეადგენს 8.60. ამ ლოკაციებზე ნიადაგის ნაყოფიერების უმნიშვნელოვანესი მახასიათებლების ანალიზმა აჩვენა, რომ ჰუმუსით ნიადაგები ღარიბია, ხოლო აზოტის შემცველობა საშუალოა. შუახევის ლოკაციაზე ჰუმუსის შემცველობა ნიადაგის სახნავ ფენაში საშუალოა (ცხრილი 2).

ცხრილი 2. ნიადაგების ზოგიერთი აგროქიმიური მაჩვენებელი.

№	ნიმუშის აღების ადგილი	ნიმუშის აღების სიღრმე, სმ	pH		%	
			H ₂ O	აქტიური რეაქცია	საერთო ჰუმუსი	საერთო აზოტი
1	დაბა შუახევი	0-40	7,46	ნეიტრალ. მიახლ.	4,05	1,22
2	შუახევევის წყალშემკრებ ნაგებობასთან	0-40	8,60	საშუალო ტუტე	1,37	0,41
3	შუახევევის ტერიტორია	0-40	8,00	სუსტი ტუტე	1,63	0,48
უზრუნველყოფის ხარისხი					<3-ღარიბი 3-5-საშუალო >5-მდიდარი	<0.3-ღარიბი 0.3-0.5-საშუალო >0.5-მდიდარი

ნიადაგების 0-40 სმ სახნავ ფენაში აღმოჩენის ზღვარს ქვემოთ იმყოფება: Ni, Hg, Li, Sb, Se, Tl, V (ცხრილის 3). Mn-ის კონცენტრაცია ყველა ნიმუშში აღემატება ზღვ-ს. As, Cd, Pb, Ba-ის კონცენტრაციები მეტია ზღვ-ზე შუახევევსთან და მის წყალშემკრებთან, Mo-ის და Zn-ის კონცენტრაციები აღემატება ზღვ-ს შუახევევსთან.

ცხრილი 3. ნიადაგის წყლიანი გამონაწურის მულტიელემენტური ანალიზი.

ლოკაცია	მიკროელემენტების შემცველობა 0-40 სმ ფენაში, მგ/კგ										
	As	B	Ba	Co	Cu	Mn	Mo	Zn	Cr	Cd	Pb
დაბა შუახევი	0.0008	0,221	0.00126	0.269	0.632	0.259	0.124	1.362	0.510	0.143	0.217
შუახევევის წყალშემკრებთან	0.0024	0.353	0.0079	0.362	1.741	0.310	0.297	4.659	0.634	0.216	1.514
შუახევევის	0.0073	0,458	0.0141	0.455	2.698	0.413	0.360	5.326	0.812	0.224	1.721
ზღვ	0,001	0,5	0,0025	0,5	3,0	0,2	0,35	5.0	3.0	0.2	0.5

ჩვენს მიერ გამოთვლილი იქნა ნიადაგების დაბინძურების საშიშროების კოეფიციენტი (K₀): K₀=C/ზღვ [10]. ნიადაგების დაბინძურება არ დაფიქსირებულა ელემენტებით: B, Co, Cu, Cr. ტოქსიკური ელემენტებით – As, Ba, Cd, Pb დაბინძურების საშიშროება >1-ზე შუახევევის წყალშემკრების და შუახევევის ლოკაციებზე; Mo, Zn-ით დაბინძურებისა-შუახევევსთან, Mn-ით დაბინძურებისა - სამივე ლოკაციაზე (ცხრილი 4).

ცხრილი 4. ნიადაგების მიკროელემენტებით (მათ შორის ტოქსიკური) დაბინძურების საშიშროების კოეფიციენტი – K₀ (0-40 სმ).

ლოკაცია	მიკროელემენტები (მათ შორის ტოქსიკური)										
	As	B	Ba	Co	Cu	Mo	Mn	Zn	Cr	Cd	Pb
დაბა შუახევი	0,800	0,442	0,504	0,538	0,210	0,354	1,295	0,272	0,170	0,715	0,434
შუახევევის წყალ-შემკრები	2,400	0,706	3,160	0,724	0,580	0,848	1,550	0,931	0,211	1,080	3,028
შუახევევის	7,300	0,916	5,640	0,910	0,899	1,028	2,065	1,065	0,270	1,120	3,442
K ₀	>1	<1	>1	<1	<1	>1	>1	>1	<1	>1	>1
ნიადაგების დაბინძურება ლოკაციაზე	2-3	-	2-3	-	-	3	1-2-3	3	-	2-3	2-3

დასკვნა. მდ. აჭარისწყლის ხეობა და მიმდებარე ტერიტორიები გამოირჩევა რელიქტური და ენდემური სახეობების, საქართველოსა და აჭარის წითელ ნუსხებში შეტანილი სახეობების სიმრავლით. ნიადაგების გატუტიანებულია შუახევკესის წყალმემკრებთან და შუახევკესთან. ნიადაგები ღარიბია ჰუმუსით და აზოტით. ელემენტების-Mn, As, Ba, Mo, Cd, Pb, Zn გაზრდილი კონცენტრაციები ნიადაგების ქიმიური დაბინძურებაზე მიუთითებს. As, Ba, Cd, Pb-ით დაბინძურების საშიშროება >1-ზე შუახევკესის წყალმემკრებთან და შუახევკესთან; Mo, Zn-ით დაბინძურებისა-შუახევკესთან, ხოლო Mn-ით დაბინძურებისა-სამივე ლოკაციაზე.

ლიტერატურა

- [1] საქართველოს წითელი წიგნი.// საქართველოს მეცნიერთა ეროვნული აკადემია. გამოცემა „საბჭოთა საქართველო“, 2017, 240 გვ.
- [2] თხელიძე ა., ლიპარტელიანი რ., უმლაძე ნ., ხომასურიძე ხ., დანელია გ. სოფლის მეურნეობის ქიმიზაცია და გარემოს დაცვა (სახელმძღვანელო). // თბილისი: საქართველოს სახელმწიფო აგრარული უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2009, 134 გვ.
- [3] მარგველაშვილი გ. ნიადაგის ქიმიური ანალიზი. // თბილისი, გამომცემლობა „საჩინო“, ISBN 978-9941-8-1511-9, 2019, 331 გვ.
- [4] გახოვიძე რ. „მწვანე ბიოორგანული რეველუციის“ საწყისებთან. // თბილისი, ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, ISSN: 9789941133336, 2014, 140 გვ.
- [5] Gvarishvili N., Kiknadze N., Memiadze N., Jashi D., Nakashidze N. Primary and Secondary (Natural) Phytocenosis Mountainous Adjara and Evaluation of their Soil Fertility Level. // 19th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference & EXPO SGEM 2019. Ecology and Environmental Protection Albena, Bulgaria, ISSN 1314-2704, 28.06-2019-07.07.2019, pp.619-626. DOI: 10.5593/SGEM
- [6] Gvarishvili N. The expected impact of hydroelectric station cascade construction at ecosystem of highland Adjara”. // International scientific conference “Intercultural dialogues“ Scientific papers IV, ISSN 2233-3401, Telavi, 2017, pp. 117-122.
- [7] Беккер Ю. Спектроскопия. // Издание: 1-е, ISBN 978-5-94836-220-52009, 528 стр.
- [8] Releve Method-handbook for Collecting Vegetation Plot Data in Minesota. // State of Minesota, 2013, p. 64.
- [9] EUNIS habitat classification // <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eunis-habitat-classification>
- [10] Ahmad Waqar, Ullah Najeeb, Zia Munir Hussain. Soil contamination with metals: sources, types and implications. Soil remediation and plants: prospects and challenges. // Edited by Khalid Rehman Hakeem, Muhammad Sabir, Münir Öztürk, and Ahmet Ruhi Mermut. London, United Kingdom: Academic Press, 2014, pp. 37-61. H90 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799937-1.00002-4>

CONSERVATIVE VALUE OF NATURAL HABITATS OF THE ADJARISTSKHALI GORGE AND ASSESSMENT OF SOIL POLLUTION ADJACENT TO THE TERRITORIES OF THE SHUAKHEVI HPP

Gvarishvili N., Kiknadze N., Abuladze T., Tavdgiridze G.

Batumi Shota Rustaveli State University, Batumi, Georgia
gvarishvili.nana@bsu.edu.ge

Abstract. *The surroundings of the Adzharistskali River valley are a refugium for tertiary moisture lovers for the Colchis forest ecosystems, which have been awarded the status of a UNESCO World Natural Heritage Site. The construction and operation of derivative cascade hydroelectric power plants currently taking place in the valley poses the risk of fragmentation, destruction and loss of natural habitats. In order to assess the current ecological state in the Adjaristskali Valley, a baseline study of the biodiversity of ecosystems was conducted in pre-selected locations. The research was carried out in the village of Shuakhevi, Shuakhevi catchment area of the Shuakhevi HPP and Shuakhevi HPP. Soil leaching was detected in the catchment area of the Shuakhevi HPP and on the Shuakhevi HPP. The soils are poor in humus and nitrogen. The risk of contamination with As, Ba, Cd, Pb exceeds 1 in the Shuakhevi catchment area and the Shuakhevi HPP; contamination Mo, Zn -near the Shuakhevi HPP, and Mn - in all locations.*

Keywords: *Forest ecosystems, soil fertility, pollution, multielement analysis.*

**ფარავნის ტბის მიმდებარე მთის ველების ჰაბიტატების
ეკოტოქსიკოლოგიური კვლევები**

გვარიშვილი ნ., კიკნაძე ნ., ნაკაიძე ნ., მეგრელიძე ნ.

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ბათუმი, საქართველო
gvarishvili.nana@bsu.edu.ge

ანოტაცია. საველე-რეკოგნოსცირებული კვლევების და ლიტერატურული წყაროების ანალიზის საფუძველზე შესწავლილია ფარავნის ტბის მიმდებარე ტერიტორიების ბიომრავალფეროვნება, ჩატარებულია წყლის, ნიადაგისა და მცენარის ეკოქიმიური ანალიზი. საკვლევი ტერიტორია ცენტოპურად მრავალფეროვნა, მდიდარია რელიქტური, ენდემური და წითელ ნუსხაში შეტანილი სახეობებით. საკვლევი ნიადაგების რეაქცია ნეიტრალურია. ფარავნის ტბის ტიპური შავმიწები მდიდარია ორგანული ნივთიერებით, საერთო აზოტი შეადგენს ჰუმუსის შემცველობის 28-30%-ს. ნიადაგები მდიდარია Ca, K, Mg, P-ით. ნიადაგებში ზდკ-ს აღმატება Ba, V-ის კონცენტრაცია. მაკროელემენტებიდან ფარავნის ტბის წყალში ზდკ-ს აღმატება Al, P, Si-ის კონცენტრაციები, აქტიურადაა გამოხატული ევტროფიკაციის პროცესი. ზდკ-ს აღმატება ვანადიუმის (0,0119–0,0178მგ/ლ) და ბერილიუმის (0,0004–0,0005მგ/ლ) შემცველობა. ბალახოვნებში აღინიშნა ნიადაგიდან მაკრო- და მიკროელემენტების საკმაოდ კარგი შთანთქმის უნარიანობა.

საკვანძო სიტყვა: ნინოწმინდის მუნიციპალიტეტი, ფარავნის ტბა, ტიპური შავმიწები, ბალახოვნები, ზდკ.

აქტუალობა. ნინოწმინდის მუნიციპალიტეტი სამხრეთ საქართველოს რეგიონია, სადაც ადამიანის სამეურნეო საქმიანობის გავლენით ბუნებრივი მცენარეულობის გარდაქმნა ფართო მასშტაბებით განხორციელდა. ადრე ჯავახეთის დიდი ნაწილი ტყეებით, ძირითადად ფიჭვნარით და არყნარით იყო დაფარული. დღეს ეს ტერიტორია წარმოდგენილია მთის ველებით, გასტეკებული მდელოებით, ტბების ირგვლივ განვითარებული წყალჭაობიანი ეკოსისტემებით და ფიჭვნარების ხელოვნური ნარგაობებით. აქ განვითარებული მცენარეულობის მრავალფეროვნების შესწავლა და დღეს არსებული ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება ითხოვს განსაკუთრებულ ყურადღებას. სწორედ ამ აქტუალურ საკითხს ეხება წინამდებარე ნაშრომი.

კვლევის მიზანს წარმოადგენდა ნინოწმინდის მუნიციპალიტეტის მთიანეთის ბიომრავალფეროვნების ფონური შესწავლა; შერჩეულ ლოკაციაზე დღეს არსებული ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება მცენარის, წყლისა და ნიადაგის მულტიელემენტური ანალიზის, ასევე ნიადაგების აგროქიმიური მაჩვენებლების შესწავლის საფუძველზე.

კვლევის ამოცანებს წარმოადგენდა საკვლევ ტერიტორიაზე განვითარებული მაღალი მთის ველების და წყალჭაობიანი ეკოსისტემების ცენოლოგიური დიაგნოსტიკა; შერჩეულ ლოკაციაზე ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასების მიზნით, მცენარის, ნიადაგისა და წყლის ნიმუშების მულტიელემენტური ანალიზი.

რეკოგნოსცირებული კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა ფარავნის ტბის ტერიტორიაზე გავრცელებული მაღალი მთის ველების, მდელოების, ტბების სანაპიროს მიმდებარე ჭარბტენიანი ეკოსისტემების და ხელოვნურად გაშენებული ფიჭვნარი კორომების ჰაბიტატები (ნინოწმინდის

მუნიციპალიტეტის ფარავნის ტბის ადკვეთილის მიმდებარე ფერდობების ფიტოცენოზები). შერჩეულ ლოკაციებზე ლაბორატორიული კვლევისთვის აღებული იქნა მცენარის, ნიადაგის და წყლის ნიმუშები.

გამოყენებული მეთოდები: საკვლევი ლოკაციის მიმდებარე ლანდშაფტების ბიომრავალფეროვნების შესწავლა მოხდა რელევე მეთოდით [1, 10]; მოეწყო მარშრუტულ-ბოტანიკური ექსპედიციები 2022 წლის ივნისსა და ივლისში; ჩატარდა რეკოგნოსცირებული სამუშაოები, რაც გულისხმობს, საკვლევი ტერიტორიის ფონურ კვლევას [2, 9]; აღწერის ბლანკის გამოყენებით მოხდა ფიტოცენოზების დიაგნოსტიკა [3, 7]; ნიადაგის ნაყოფიერების დასადგენად და მცენარის ნიმუშების საანალიზოდ მოსამზადებლად, გამოყენებული იქნა მშრალი დანაცრების და ტიტრირებადი მეთოდები [4, 5, 6]; ნიადაგის და მცენარის მულტიელემენტური ანალიზი ჩატარდა პლაზმური ატომურ-ემისიური სპექტრომეტრით, ხელსაწყო ICPE-9820-ზე [8, 11, 12].

კვლევის შედეგები.

ნინოწმინდის მთიანეთის მცენარეულობა განსაკუთრებული ბუნებრივი პირობების გამო მეტად მდიდარი და მრავალფეროვანია. ტერიტორიის უმეტესი ნაწილი უტყეოა, დაფარულია მთის მდელო-ველის მცენარეულობით. ეს ლანდშაფტურ-გეობოტანიკური ზონა მოიცავს: ჭარბტენიან ტერიტორიებს, უნიკალური ტიპების და ტიპების ირგვლივ დაჭაობებულ ტაფობებში გავრცელებული წყლისა და ჭაობის მცენარეულობით; მთის სტეპებს მრავალი მოდიფიკაციით; მთის ქსეროფიტულ ბუჩქნარებს; მშრალ და მეზოფილურ მდელოებს; ტყის რელიქტურ ნაშთებს, რომლებიც ერთ დროს ჩვეულებრივ არსებობდა ჯავახეთის ზეგანზე. ნინოწმინდის მთიანეთის ფერდობებზე ბიომებს ქმნიან ჰემიქსეროფილური და მეზოფილური ფიტოცენოზები, ზოგჯერ კი მათი ერთობლივი კომბინაციები. სტეპის მცენარეულობა წარმოშობის მიხედვით მეორადია, იგი ჯავახეთის ზეგანზე ტყის საფარის განადგურების კვალდაკვალ ჩამოყალიბდა. ტერიტორიის დიდი ნაწილი დამუშავებულია და სასოფლო-სამეურნეო კულტურებს უჭირავს, ხოლო დანარჩენი ფართობები სათიბ-საძოვრებადაა გამოყენებული. საკვლევი ტერიტორია ცენტოტიპურად მრავალფეროვანია, მთიანეთის უტყეო ფერდობებზე ბიომებს ქმნიან ჰემიქსეროფილური მარცვლოვან-ნაირბალახოვანი პოლიდომინანტური ველები (ველისწივანიან-ნაირბალახოვანი (*Festuca valesiaca*, *mixtoherbosa*), ვაციწვერიან-ველისწივანიან-ნაირბალახოვანი (*Stipatirsa*, *Festuca valesiaca*, *mixto herbosa*), ისლიან-მარცვლოვან-ნაირბალახოვანი (*Carex humilis*, *Festuca valesiaca*, *Stipa capillata*, *mixto herbosa*), ბეგქონდარიან-ისლიან-ველისწივანიანი (*Thymus rariflorus*, *Carex humilis*, *Festuca valesiaca*) და მეზოფილური კოლბოხოვანი ჭაობების მცენარეულობა - ისლიან-შვიტიანი (*Cerex acuta*, *Equisetum heleocharis*), ისლიან-კოლბოხიანი (*Carex diandra*, *purum*), ლერწმიან-შვიტიანი (*scolochloa festucea*, *equisetosum heleocharis*), ლერწმიან კოლბოხიანი (*scolochloa festucea*, *purum*). საკვლევი ტერიტორია მდიდარია რელიქტური, ენდემური და წითელ ნუსხაში შეტანილი სახეობებით.

ფარავნის ტბის ტიპიური შავმიწა ნიადაგის 0–40სმ სახნავ ფენაში წყლიანი გამონაწურის pH 7,3-ია, ანუ რეაქცია თითქმის ნეიტრალურია. ჰუმუსის შემცველობა შეადგენს 6,3%-ს, ამრიგად ნიადაგი მდიდარია ორგანული ნივთიერებებით. საერთო აზოტის შემცველობა შეადგენს 1,89%-ს და იგი ჰუმუსის შემცველობის 30%-ია, ნიადაგი უზრუნველყოფილია აზოტით (ცხრილი 1).

ცხრილი 1. ნიადაგის ნაყოფიერების ზოგიერთი მაჩვენებელი.

ლოკაცია	ნიადაგის ტიპი, სახეობა	pH	ჰუმუსი %	საერთო აზოტი %
ფარავნის ტბის მიმდებარედ	ტიპიური შავმიწა	7,3	6,3	1,89
<i>უზრუნველყოფის ხარისხი</i>		<i>ნეიტრალურთან მიახლოებული</i>	<i><3-ღარიბი 3-5 –საშუალო >5 –მდიდარი</i>	<i><0.3-ღარიბი 0.3-0.5 – საშუალო >0.5-მდიდარი</i>

ნიადაგში მაკროელემენტები განლაგებულია თანმიმდევრობით: Ca > K > Mg > Si > Na > P > Al. ნიადაგი მდიდარია კალციუმით, კალიუმით, მაგნიუმით, ფოსფორით (ცხრილი 2). ტბის მიმდებარედ აღებულ ბალახოვნებში აღინიშნა ნიადაგიდან მაკროელემენტების საკმაოდ მაღალი შთანთქმის უნარიანობა, რასაც უზრუნველყოფს შავმიწა ნიადაგის კარგი სტრუქტურა და მექანიკური შედგენილობა, მისი მაღალი სიფხვიერის ხარისხი (ცხრილი 3).

ცხრილი 2. ფარავნის ტბის მიმდებარე ტერიტორიების ტიპიური შავმიწა ნიადაგების ელემენტური ანალიზი, მაკროელემენტები 0–40 სმ ფენაში (მგ/კგ).

ლოკაცია	ნიადაგის ტიპი	Al	Ca	K	Mg	Na	P	Si
ფარავნის ტბის მიმდებარედ	ტიპიური შავმიწა	17.7	1206.3	1187	136.8	119.06	72.89	293.0

ცხრილი 3. ფარავნის ტბის მიმდებარე ტერიტორიების ბალახოვნების ელემენტური ანალიზი, მაკროელემენტები (მგ/კგ).

ლოკაცია	Al	Ca	K	Mg	Na	P	Si
ფარავნის ტბის მიმდებარედ	8.909	529.7	856	95.2	55.2	48.0	87.6

მიკროელემენტებიდან ნიადაგის 0–40 სმ ფენაში აღმოჩენის ზღვარს ქვემოთ იმყოფება: As, B, Be, Cd, Co, Cr, Li, Sb, Se, Zn. ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას აღემატება Ba-ის (0,19 მგ/კგ) და V-ის (0,202 მგ/კგ) კონცენტრაციები (ცხრილი 4). ამასთან, დაფიქსირდა აღნიშნული ელემენტების მაღალი შეღწევადობის უნარი ნიადაგიდან ბალახოვან მცენარეებში (ცხრილი 5).

ცხრილი 4. ფარავნის ტბის მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგების ელემენტური ანალიზი, მიკროელემენტები 0–40 სმ ფენაში (მგ/კგ).

ლოკაცია	ნიადაგის ტიპი	Ba	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Ti	V
ფარავნის ტბის მიმდებარედ	ტიპიური შავმიწა	0.19	0.308	10.3	0.0418	0.0719	0.0614	0.769	0.202
ზდკ, მგ/კგ		0,025	3,0	-	2,0	0,35	4.0	-	0,1

ცხრილი 5. ფარავნის ტბის მიმდებარე ტერიტორიების ბალახოვნების ელემენტური ანალიზი, მიკროელემენტები, მგ/კგ.

ლოკაცია	Ba	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Ti	V
ფარავნის ტბის მიმდებარედ	0.12	0.0842	0.0311	0.0384	0.032	0.0079	-	0.0492

მაკროელემენტებიდან ფარავნის ტბის წყალში ზდკ-ს აღემატება Al-ის, P-ის და Si-ის კონცენტრაციები. მაკროელემენტებიდან დომინანტია Na – 196 მგ/ლ. მაკროელემენტები შემცველობის მიხედვით განლაგებული არიან რიგში: Na > Ca > K > Mg > Si > Al > P. განსაკუთრებით საგანგაშოა ის ფაქტი, ტბის სანაპირო წყლებში დიდი რაოდენობითაა შეწონილი დალეილი ნაწილაკები, რასაც ადასტურებს წყლებში Al-ის და Si-ის ზდკ–ზე მაღალი შემცველობა (ცხრილი 6). მეორეს მხრივ, წყალში გროვდება Na, რომლის მაღალი კონცენტრაცია ფეკალური მასების და სხვა სახის გაბინძურებული ჩამდინარე წყლების დიდი რაოდენობის მოხვედრით არის განპირობებული. ამასთან, ტბის წყალი განიცდის აქტიურ

„ყვავილობას“ (ევტროფიკაციის პროცესს), რაც დასტურდება ფოსფორის ზდკ-ზე მაღალ შემცველობაში და გამოსახულია ვიზუალურადაც.

ცხრილი 6. მაკროელემენტების შემცველობა ფარავნის ტბის წყალში, მგ/ლ.

ლოკაცია	Al	Ca	K	Mg	Na	P	Si
ფარავნის ტბა	3.18	115.32	100.34	71.6	196	0.0304	18.25
ზდკ, მგ/ლ	1,0	-	-	-	< 200	0,028	10,0

მიკროელემენტებიდან წყლებში აღმოჩენის ზღვარს ქვემოთ იმყოფება: Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Li, Mo, Ni, Se, Ti, Zn. ზდკ-ს არ აღემატება: B, Ba, Fe, Mn, As, Sb. ტბის წყალში ზდკ-ს აღემატება მძიმე მეტალების – ვანადიუმის (0,0119მგ/ლ) და ბერილიუმის (0,0004მგ/ლ) შემცველობა.

ცხრილი 7. მიკროელემენტების შემცველობა წყლებში, მგ/ლ.

ლოკაცია	B	Ba	Fe	Mn	As	V	Be	Sb
ფარავნის ტბა	-	0.0082	-	0.0029	-	0.0119	0.0004	-
ზდკ, მგ/ლ	0,5	0,025	0,3	0,05	0,01	0,01	0,0002	0,005

დასკვნა. საკვლევი ტერიტორია ცენოტიპურად მრავალფეროვნია, წინწმინდის მთიანეთის უტყეო ფერდობებზე ბიომებს ქმნის ჰემიქსეროფილური მარცვლოვან-ნაირბალახოვანი პოლიდომინანტური ველები: ველისწივიან-ნაირბალახოვანი (*Festuca valesiaca, mixto herbosa*); ვაციწვერიან-ველისწივიან-ნაირბალახოვანი (*Stipa tirsia, Festuca valesiaca, mixto herbosa*); ისლიან-მარცვლოვან-ნაირბალახოვანი (*Carex humilis, Festuca valesiaca, Stipa capillata, mixto herbosa*); ბეგქონდარიან-ისლიან-ველისწივიანი (*Thymus rariflorus, Carex humilis, Festuca valesiaca*); მეზოფილური კოლბოხოვანი ჭაობების მცენარეულობა (ისლიანი-შვიტიანი (*Cerex acuta, Equisetum heleocharis*); ისლიან-კოლბოხიანი (*Carex diandra, purum*); ლერწმიან-შვიტიანი (*scolochloa festucea, equisetosum heleocharis*); ლერწმიან კოლბოხიანი (*scolochloa festucea, purum*). ტერიტორია მდიდარია რელიქტური, ენდემური და წითელ ნუსხაში შეტანილი სახეობებით. ფარავნის ტბის მიმდებარედ განვითარებულია ტიპური შავმიწები. მათი რეაქცია თითქმის ნეიტრალურია, ისინი მდიდარია ორგანული ნივთიერებებით, აზოტით, მცენარის კვებისთვის აუცილებელი ელემენტებით (Ca, Mg, K, P). ნიადაგში ზდკ-ს აღემატება Ba-ის და V-ის კონცენტრაციები. მაკროელემენტებიდან ტბის წყალში ზდკ-ს აღემატება Al, P, Si-ის კონცენტრაციები. მაკროელემენტებიდან დომინანტია Na. ტბის წყალი განიცდის ევტროფიკაციის პროცესს, რაც დასტურდება P-ის ზდკ-ზე მაღალი შემცველობით (0.0304 მგ/ლ). წყალში ზდკ-ს აღემატება მძიმე მეტალების – V-ის და Be-ის შემცველობა.

ლიტერატურა

[1] ელიზბარაშვილი ნ., ნიკოლაშვილი დ. და სხვები. ჯავახეთის დაცული ტერიტორიების ლანდშაფტური დაგეგმარება. // ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ბუნების დაცვის მსოფლიო ფონდი (WWF), გამომცემლობა „უნივერსალი“, ISBN 978-9941-17-155-0, 2010.

[2] იანქოშვილი გ. სამხრეთ საქართველოს მთიანეთი (ჯავახეთის ზეგნის ჩათვლით) // https://www.researchgate.net/publication/290432217_samkhret_sakartvelos_mtianeti_javakhetis_zegnis_chatvliit

[3] ნიძე ვ. სამცხე-ჯავახეთი. // წიგნში, საქართველოს სოციალურ-ეკონომიკური გეოგრაფია, ტ.2, 256-271. 4. Kikodze, D.. Environmentalbaseline - BTC/SCP Pipeline Project ESIA, DzelkvaLtd, 2002.

[4] მარგველაშვილი გ. ნიადაგის ქიმიური ანალიზი, // თბილისი, გამომცემლობა „საჩინო“, 2019, 331 გვ.

[5] მსოფლიო საცნობარო ბაზა ნიადაგების რესურსებისათვის. // თბილისი, აგრარული უნივერსიტეტი, 2017, 221 გვ.

[6] ონიანი ო., მარგველაშვილი გ. // მცენარის ქიმიური ანალიზი. // თბილისი, გამომცემლობა „განათლება“, 1978, გვ. 18–22.

[7] სამცხე-ჯავახეთის ფლორის განვითარების თავისებურებები. // <http://samtskhe-javakheti.tsu.ge/uploads/image/mcenareebi.pdf>

[8] საქართველოს კანონი გარემოს დაცვის შესახებ №519-III. // თბილისი, 1996 წლის 10 დეკემბერი, 29 გვ.

- [9] საქართველოს მცენარეთა სარკვევი. ტომი I.II. // თბილისი, 1964, 1969, გვ. 458.
- [10] Releve Method-handbook for Collecting Vegetation Plot Data, 2013, p. 64.
- [11] Беккер Ю. Спектроскопия. // Издание: 1-е, ISBN 978-5-94836-220-5, 2009, 528 pg.
- [12] Internet resource // <https://www.shimadzu.com/an/products/elemental-analysis/inductively-coupled-plasma-emission-spectroscopy/icpe-9800-series/index.html>

ECOTOXICOLOGICAL STUDIES OF HABITATS ADJACENT TO MOUNTAIN FIELDS OF THE PARAVANI LAKE

Gvarishvili N., Kiknadze N., Nakaidze N., Megrelidze N.

*Batumi Shota Rustaveli State University, Batumi, Georgia
gvarishvili.nana@bsu.edu.ge*

Abstract. Based on field reconnaissance research and analysis of literary sources, the biodiversity of the adjacent areas of Paravani Lake was studied, an eco-chemical analysis of water, soil and plants was carried out. The study area is cenotypically diverse, rich in relict, endemic and species included in the Red Book. The reaction of the studied soils is neutral. Typical chernozems of Paravani Lake are rich in organic matter, total nitrogen makes up 28-30% of the humus content. The soils are rich in Ca, K, Mg, P. The concentration of Ba and V in soils exceeds the MPC. Among macro-elements, the concentrations of Al, P, and Si in the lake water exceed the MPC, and the process of eutrophication is actively expressed. Among heavy metals, the content of V (0.0119-0.0178 mg/l) and Be (0.0004-0.0005 mg/l) exceeds the MPC. It has been noted that grasses have a fairly good ability to absorb macro- and microelements from the soil.

Keywords: Municipality of Ninotsminda, Faravani Lake, typical chernozems, herbaceous plants, MPC.

აჭარის მთავარი წყალშემკრები აუზების მქონე მდინარეების ფეკალური დაბინძურების დონის ლაბორატორიული კვლევა

დარჩიძე გ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო
Darchidz1995@gmail.com

ანოტაცია. წყლის დაბინძურების პრობლემა მსოფლიოსთვის სულ უფრო აქტუალური ხდება. განსაკუთრებული ყურადღება უნდა მიექცეს წყლის წყაროების ბიოლოგიურ დაბინძურებას, რომელიც წარმოიქმნება წვიმისა და დნობის წყლის გამორეცხვის ან ანთროპოგენური ბიოლოგიური დაბინძურების წყაროების გამორეცხვის შედეგად. წყლის გარემოში მოხვედრის შემდეგ, ხელსაყრელ პირობებში, პათოგენური ორგანიზმები შეიძლება სწრაფად გამრავლდნენ, რაც საფრთხეს უქმნის გარემოს.

წყლის დამაბინძურებლების ზემოქმედება კონკრეტულ წყლებზე განსხვავებულია და შეიძლება ყოველთვის არ იყოს სრულად დაფასებული. თუმცა, ჩვენ ვიცით, რომ ამ დამაბინძურებლებს აქვთ მკვეთრი გავლენა სასმელი წყლის მარაგზე, დასვენებაზე, მეთევზეობასა და ველურ ბუნებაზე. სწორედ ამიტომ არის აუცილებელი წყლის ბიოლოგიური დაბინძურების წყაროს მოძიება, მისი ხანდაზმულობის და ლეტალობის შესწავლა, რათა შემუშავდეს დაბინძურების აღმოფხვრის ეფექტური მეთოდი.

შეირჩა 16 მდინარე, რომლებზეც გაკეთდა ბაქტერიოლოგიური კვლევა ფეკალური ნარჩენების არსებობის დასადგენად, სხვა წყაროებზე დადგენილია დეზიტი, სიმღვრივე და E-Coli (საველე პირობებში).

საკვანძო სიტყვები: დაბინძურების ფეკალური წყარო, წყლის წყარო, კვლევა, აჭარის რეგიონი.

მადლიერება: ავტორი ღრმად მადლიერია იმ ადამიანებისა და კომპანიების, ვინც წვლილი შეიტანა ამ მოხსენებაში. კერძოდ, განსაკუთრებული მადლობა „აჭარის ქალაქებისა და სოფლების წყალმომარაგებისა და წყლის რესურსების პროგრამა“-ს, აჭარის წყლის ალიანსს და "MACS"-ის წარმომადგენლობა საქართველოს ტექნიკური დახმარების, კვლევითი საქმიანობის წახალისებისა და მხარდაჭერისთვის. ასევე მადლობა მიმინდა გადავუხადო ზურაბ მეგრელიშვილს საწყისი მონახაზის აკრეფის პროცესში ჩართულობისა და გაწეული მხარდაჭერისთვის.

შესავალი

აჭარის რეგიონის ზედაპირული წყლების ხარისხის მონიტორინგის მთავარი მიზანია არსებული ანთროპოლოგიური დაბინძურების დონის განსაზღვრა, ლაბორატორიული ანალიზებისა და მდინარეთა აუზების დათვალიერების მეშვეობით, რათა მოხდეს რეკომენდაციების შემუშავება არსებული დაბინძურების კერების უტილიზაციისა და სამომავლო დაბინძურების თავიდან აცილებითი სამუშაოების გასატარებლად.

შერჩეულ მდინარეთა აუზებში მონიტორინგის განხორციელების საფუძველია:

- I. დაბინძურების დონის განსაზღვრის საჭიროება აჭარის რეგიონში მდინარეთა აუზის წყლის ობიექტებში დაბინძურების ხარისხის შესაფასებლად და მდინარის აუზის მართვის გეგმების შემუშავებისთვის.
- II. ინფორმაციის მოპოვების საჭიროება წყლის რესურსების დაბინძურების თავიდან ასაცილებლად.
- III. ინფორმაციის მოპოვების საჭიროება მდინარეთა და წყლის ეკოსისტემის ეფექტური მართვისთვის.
- IV. შერჩეული მდინარეების აუზში შესაძლო დაბინძურების წყაროების და მიზეზების იდენტიფიკაცია.

- V. სახელმწიფო, რეგიონული და ადგილობრივი სამთავრობო უწყებების, ორგანიზაციებისა და საზოგადოებისა ცნობიერების გაზრდა აჭარის რეგიონის მდინარეთა წყლის ხარისხის შესახებ.
- VI. დაბინძურების კერების მიხედვით რეკომენდაციული ტიპის დასკვნების გაკეთება.

ძირითადი ნაწილი

აჭარის რეგიონის მცირე და დიდი მდინარეების შესწავლის, დაბინძურების კერების მოძიებისა და მათი შეფასების მიზნით, პირველი კოლოქიუმის მოხსენების შემდეგ გაგრძელდა კვლევები E-Coli-ით დაბინძურებული მდინარეების გამოსავლენად (ცხრილი 1), და მათი სიმღვრივის მაჩვენებლის გასარკვევად (ცხრილი 2).

უნდა აღინიშნოს ის ფაქტი, რომ ეს არის ერთჯერადი ჩატარებული კვლევები. 2023-ის მაისის თვიდან კი დავიწყეთ პერიოდული განმეორებითი კვლევები იგივე პარამეტრებზე, ოღონდ ამჯერად განსხვავებულ სეზონულ მონაკვეთებში. ცხრილის სახით წარმოგიდგინებ სხვაობებს პირველ და მეორე ეტაპობრივ კვლევებში მიღებული შედეგების უკეთ შედარების მიზნით.

დაიწყო ა.ა.რ-ის თვითმმართველ ერთეულებში შერჩეული 16 წყალშემკრები მდინარის პერიოდული ლაბორატორიული კვლევების პირველი ეტაპი ქვეყანაში მოქმედი ნორმების შესაბამისად. სინჯის აღების ადგილების შერჩევის მეთოდის შესარჩევად გამოვიყენეთ:

- საქართველოს კანონმდებლობა [1, 2, 3];
- ევროკავშირის წყლის ინიციატივა პლუსი (EUWI+) აღმოსავლეთ პარტნიორობის ქვეყნებისთვის „ზოგადი სახელმძღვანელო მითითებები ზედაპირული წყლების კვლევისათვის” საფუძველზე. [4]
- ზედაპირული წყლების მონიტორინგის განვითარების გეგმა საქართველო - ჰიდრობიოლოგიური მონიტორინგი - შესაბამისად (UNECE 2000 და EU WFD 2000)[5]
- მდინარე ქცია /ხრამის აუზის დაგეგმვის პროცესი [5];
- ევროკავშირის წყლის ინიციატივა პლუს პროექტის (2016-2020) ფარგლებში ჩატარებული ტრანსსასაზღვრო კვლევები [6].

ცხრილი 1. მუნიციპალიტეტებში E-Coli-ით დაბინძურებული მდინარეების რაოდენობა.

მუნიციპალიტეტი	დაბინძურებული წყაროს რაოდენობა	დაუბინძურებელი წყაროს რაოდენობა	სულ
ქობულეთი	40	34	74
ხელვაჩაური	17	52	69
ქედა	17	45	62
შუახევი	19	43	62
ხულო	23	23	46
სულ	144	197	341

აღნიშნული ლაბორატორიული კვლევებისთვის მდინარეების შერჩევის პროცესში, ვეცადეთ შეგვეჩინა მდინარეები, იმ პრინციპით, რომ შესაძლებელი ყოფილიყო აჭარის რეგიონული ჰიდროლოგიური ქსელის უდიდესი ნაწილის შეფასება. ამისთვის შერჩეულ იქნა დამოუკიდებელი წყალშემკრები აუზების მქონე მდინარეები.

ამ კუთხით აჭარა საკმაოდ გამორჩეული რეგიონია, რადგან აქ ვხვდებით პატარა მდინარეებს სიგრძით 40 კმ-მდე, რომლებიც ქობულეთის და ხელვაჩაურის მუნიციპალიტეტებში დამოუკიდებლად უერთდებიან შავ ზღვას, მაშინ როცა შუა აჭარის მდინარეები მდინარე აჭარისწყალის წყალშემკრები აუზის შენაკადებს წარმოადგენენ.

ცხრილი 2. მუნიციპალიტეტებში სიმღვრივით დაბინძურებული მდინარეების რაოდენობა

მუნიციპალიტეტი	დაბინძურებული წყაროს რაოდენობა	დაუბინძურებელი წყაროს რაოდენობა	სულ
ქობულეთი	44	30	74
ხელვაჩაური	37	32	69
ქედა	45	17	62
შუახევი	32	30	62
ხულო	31	15	46
სულ	217	124	341

მდინარის წყლის ლაბორატორიული ანალიზისთვის საჭირო გახდა იმ წერტილების შერჩევა სადაც ლაბორატორიული სინჯის აღება მოხდებოდა. ქართული კანონმდებლობა არ არეგულირებს სინჯის აღების ლოკაციების განსაზღვრას, ის მხოლოდდამხოლოდ სინჯის აღების მეთოდოლოგიას განსაზღვრავს [3].

ლაბორატორიული ანალიზის შედეგები:

მდინარეებში ფეკალური დაბინძურების დონის დასადგენად საჭიროებას წარმოადგენს მათი კალაპოტებიდან აღებულ სინჯებზე ლაბორატორიული კვლევების ჩატარება, ამისთვის თითოეულ მდინარეზე განხორციელდა ლაბორატორიული ანალიზების აღება, და განისაზღვრა მიკრობიოლოგიური და ქიმიურ-ფიზიკური ლაბორატორიული პარამეტრები, რომლებიც მოცემულია ქვემოთ ცხრილი N3 სახით.

ცხრილი 3. აჭარის მდინარეებში ლაბორატორიული ანალიზებით ნაპოვნი დაბინძურების დონეები.

მდინარე	აუზი	ლაბორატორიული ანალიზის შედეგები				
		დებიტი (ლ/წმ)	PH	საერთო კოლიფორმული ბაქტერია	E. coli	Streptococcus faecalis / Intestinal enterococci
მდ. ყოროლისწყალი	შავი ზღვა	1914.3	7.55	1300	620	60
		1956.1	8.46	7000	620	60
		2093.2	9.25	24000	7000	1300
მდ. ბარცხანა	შავი ზღვა	29.5	7.74	5000	2400	60
		569.9	7.97	240000	70000	13000
		678.1	7.5	240000	24000	13000
მდ. დეხვა	შავი ზღვა	1109.0	7.81	7000	2400	<50
		1223.7	8.68	7000	2400	<50
		9994.9	7.52	7000	2400	<50
მდ. კუბისწყალი	შავი ზღვა	30.6	7.92	70000	7000	<50

		286.7	7.91	700000	70000	<50
		305.9	7.74	210000	620	<50
მდ. ჩაქვისწყალი	შავი ზღვა	4698.5	7.96	7000	620	620
		4276.2	8.79	24000	1300	230
		5068.9	90.9	2100	1300	620
მდ. ზღვისწყალი	მდ. ჩაქვისწყალი	667.8	8.2	24000	13000	290
მდ. კინტრიში	შავი ზღვა	7248.7	8	70000	7000	1300
		9115.9	7.89	2400	230	230
		12245.8	8.07	240000	13000	1300
მდ. კინკიშა	მდ. კინტრიში	2901.3	8.57	2400	620	230
მდ. აკავრეთა	მდ. აჭარისწყალი	1125.9	7.73	620	<50	<50
	მდ. აჭარისწყალი	4837.2	7.61	230	<50	<50
	მდ. აჭარისწყალი	7921.1	7.65	7000	620	<50
მდ. აჭარისწყალი	მდ. ჭოროხი	117729.1	8.01	7000	2400	<50
მდ. აჭარისწყალი	მდ. ჭოროხი	155329.9	7.94	7000	<50	<50

მდ. ჭვანისწყალი / ნაღვარევი	მდ. აჭარისწყალი	5577.7	7.86	6220	<50	<50
		18640.4	8.13	7000	2400	<50
მდ. აჭარისწყალი	მდ. ჭოროხი	27404.6	8	2400	2400	<50
მდ. აჭარისწყალი	მდ. ჭოროხი	64990.2	8	2400	2400	<50
მდ. ჩირუხისწყალი	მდ. აჭარისწყალი	1895.2	8.07	2400	2400	<50
		739.4	7.95	7000	7000	<50
		4994.6	7.95	2400	620	<50
მდ. უჩამბისწყალი	მდ. ჩირუხისწყალი	2446.0	7.71	70000	7000	<50
მდ. აჭარისწყალი	მდ. ჭოროხი	7822.5	8.79	7000	2400	<50
მდ. სხალთა	მდ. აჭარისწყალი	2118.4	7.74	2400	2400	<50
		425.4	8.26	70000	7000	1300
მდ. აჭარისწყალი	მდ. ჭოროხი	3723.0	8.29	24000	70000	2400
მდ. რაქვთა	მდ. სხალთა	945.3	7.78	70000	2400	230
მდ. ღორჯომი	მდ. აჭარისწყალი	407.7	8.03	70000	7000	<50
		3948.4	7.95	1300	500	<50
მდ. აჭარისწყალი	მდ. ჭოროხი	6900.5	9.3	2400	620	<50
მდ. აჭარისწყალი	მდ. ჭოროხი	579.0	7.8	2400	620	<50

კვლევის მიმდინარე შედეგები

1. დამუშავდა თანამედროვე სამეცნიერო-ტექნიკური ლიტერატურა და საქართველოს მოქმედი კანონმდებლობა წყლის წყაროს ფეკალური დაბინძურების დონის დასადგენად საჭირო ლაბორატორიული ანალიზის მეთოდის შესარჩევად.

2. გამოკვლეულია აჭარის რეგიონის 300 - ზე მეტი როგორც ზედაპირული, ისე გრუნტის წყლის წყარო, დადგინდა მათი დებიტი, E.Coli-ით დაბინძურება (ცხრ. 1), სიმღვრივის მაჩვენებელი (ცხრ.2).

3. ჩატარდა წინასწარ შერჩეულ მდინარეებზე ლაბორატორიული ანალიზები ქიმიურ-ფიზიკურ და ბაქტერიოლოგიურ მაჩვენებლებზე ფეკალური დაბინძურების დონის განსასაზღვრად.

4. გამოკვლეული წყაროების ტერიტორიების დათვალიერების შედეგად გამოიკვეთა დაბინძურების ქიმიური და ბაქტერიოლოგიური გაჭუჭყიანების ანტროპოლოგიური კერები.

5. მდინარეების პირველმა ლაბორატორიულმა მონიტორინგმა გვიჩვენა, რომ წყლის დაბინძურების პრობლემატიკა აჭარის რეგიონში პრობლემატური საკითხია და საჭიროა კვლევების გაგრძელება.

კვლევის შედეგები განვითარება

1. აუცილებელია გამაჭუჭყიანებელი კერების შეფასება და სამომავლო დაბინძურების თავიდან აცილების მიზნით მათი უტილიზაციის საკითხების გადაწყვეტა, რაც ხელს შეუწყობს გარემოს დაცვის საკითხებს და მდინარეების წყლის გაჯანსაღებას.

2. გაგრძელდება აჭარის რეგიონის მცირე და დიდი მდინარეების შესწავლა, დაბინძურების კერების მოძიება და შეფასება.

3. გაგრძელდება ა.ა.რ-ის ტვითმმართველ ერთეულებში შერჩეული მდინარეების შემდეგი სეზონური ლაბორატორიული კვლევები.

4. მოხდება კვლევებში მიღებულ შედეგების შედარება ერთმანეთთან და სხვა წყაროებიდან მოპოვებული მონაცემებთან და განხორციელდება გამოვლენილ დამოკიდებულებებზე მუშაობა.

5. ჩატარებული კვლევების საფუძველზე სასურველია შევქმნათ ზოგადი მოდელი ლაბორატორიული ანალიზისთვის სინჯის აღების წერტილის წინასწარ შერჩევისთვის.

სამეცნიერო კვლევის სამომავლო განვითარებისათვის განსახორციელებელია დაბინძურების აღმოსაფხვრელი რეკომენდაციის შემუშავება, როგორც ინფორმაციული და კონსტრუქციული, ასევე ტექნოლოგიური. ამის საფუძველზე უნდა დამუშავდეს სასმელი წყლის ტექნოლოგია, კონკრეტული მდინარის ფიზიკურ-ქიმიური და ბაქტერიოლოგიური შემადგენლობისა და დებიტის სიდიდის გათვალისწინებით.

მაღლიერება: სადოქტორო ნაშრომი სრულდება საქართველოს შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის (SRNSFG) ხელშეწყობით. პროექტის N PHDF-22- 2127.

ლიტერატურა

- [1] საქართველოს მთავრობის დადგენილება №58 2014 წლის 15 იანვარი ქ. თბილისი სასმელი წყლის ტექნიკური რეგლამენტის დამტკიცების შესახებ. ბოლოს გადამოწმდა უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 11.07.2023. // <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/2196792?publication=0>
- [2] საქართველოს მთავრობის დადგენილება №425 2013 წლის 31 დეკემბერი ქ. თბილისი საქართველოს ზედაპირული წყლების დაბინძურებისაგან დაცვის ტექნიკური რეგლამენტის დამტკიცების თაობაზე. ბოლოს გადამოწმდა უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 11.07.2023 // <https://www.matsne.gov.ge/ka/document/view/2187528?publication=0> -
- [3] საქართველოს მთავრობის დადგენილება №26 2014 წლის 3 იანვარი ქ. თბილისი ტექნიკური რეგლამენტის „წყლის სინჯის აღების სანიტარიული წესების“ დამტკიცების შესახებ. ბოლოს გადამოწმდა უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 11.07.2023. // <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/2190044?publication=0>
- [4] ევროკავშირის წყლის ინიციატივა პლუსი (EUWI+) აღმოსავლეთ პარტნიორობის ქვეყნებისთვის სომხეთ-საქართველოს ერთობლივი ტრანსსასაზღვრო მონიტორინგის პროგრამა წყლის ხარისხზე ქცია/ხრამი-დებედას მდინარეთა აუზში სახელმძღვანელო დოკუმენტი მდინარის ერთობლივი მონიტორინგის პროცედურების შესახებ, თბილისი 2021. ბოლოს გადამოწმდა უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 11.07.2023. // <https://www.euwipluseast.eu/en/>
- [5] ხრამი-დებედას მდინარეთა აუზის მართვის გეგმის შემუშავება საქართველოში. ბოლოს გადამოწმდა უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 11.07.2023. // <https://rec-caucasus.org/>
- [6] European Union Water Initiative Plus for Eastern Partnership Countries. ბოლოს გადამოწმდა უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული 11.07.2023. // <http://wis.mepa.gov.ge/News/Topic?Id=2131>

RIVERS WITH THE MAIN WATER CATCHMENT BASINS OF ADJARA LABORATORY STUDY OF FECAL CONTAMINATION LEVELS

Darchidze G.

*Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia
Darchidz1995@gmail.com*

Abstract. The problem of water pollution is becoming more and more urgent for the world. Special attention should be paid to the biological contamination of water sources, which occurs as a result of rain and meltwater leaching or anthropogenic biological pollution sources. After entering the water environment, under favorable conditions, pathogenic organisms can multiply rapidly, which poses a threat to the environment. The effects of water pollutants on specific waters vary and may not always be fully appreciated. However, we know that these pollutants have harmful effects on drinking water supplies, recreation, fisheries, and wildlife. That is why it is necessary to find the source of biological water pollution, to study its age and lethality, in order to develop an effective method of pollution elimination. 16 rivers were selected, on which bacteriological research was done to determine the presence of faecal waste, discharge, turbidity and E-Coli (in field conditions) were determined on other sources.

Keywords: Fecal source of pollution, water source, research, Adjara region.

Thanksgiving. The author is deeply grateful to the people and companies who contributed to this report. In particular, special thanks to "Adjara Cities and Villages Water Supply and Water Resources Program", Adjara Water Alliance and "MACS" representative office of Georgia for technical assistance, encouragement and support of research activities. I would also like to thank Zurab Megrelishvili for his involvement in the process of writing the initial draft and for his support.

პესტიციდების და აგროქიმიკატების გამოყენების შეფასება თელავის მუნიციპალიტეტის მაგალითზე

მარგალიტაშვილი დ., დავითაშვილი მ.

იაკობ გოგებაშვილის სახელობის თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, თელავი, საქართველო
daredjan.margalishvili@tesau.edu.ge

ანოტაცია. ნაშრომის მიზანია თელავის მუნიციპალიტეტში პესტიციდების და აგროქიმიკატების გამოყენების შეფასება. ამისათვის სოფელ იყალთოში, ჩატარდა კვლევა იმის გასარკვევად, თუ სოფლის მეურნეობის რეზერვები რა სახის ნაერთებს მოიხმარენ, ასევე, რამდენად ინფორმირებულნი არიან ისინი მათ შესახებ. კვლევის შედეგებმა გვიჩვენა, რომ მოსახლეობა პოზიტიურად აფასებს სასუქების და პესტიციდების გამოყენებას, თუმცა მოსახლეობის დიდი ნაწილისთვის უცნობია ის საშიშროება, თუ რა საფრთხე შეიძლება შეუქმნას მათ ჯანმრთელობას ვადაგასული პესტიციდებისა თუ აგროქიმიკატების გამოყენებამ ან/და ნორმების დარღვევამ.

საკვანძო სიტყვები: პესტიციდები, აგროქიმიკატები, გარემოს დაბინძურება.

შესავალი. სოფლის მეურნეობის ქიმიზაცია და გარემოს დაცვის საკითხების მეცნიერული შესწავლა კაცობრიობის გადარჩენისათვის ბრძოლაში, XXI საუკუნის გლობალური ეკოლოგიური პრობლემაა. გლობალიზაციის პროცესები, რომელიც მსოფლიოში მიმდინარეობს უშუალოდ უკავშირდება სამეურნეო მასშტაბების ზრდას, რომლებიც თავისთავად, იწვევს დედამიწის ბუნებრივი რესურსების გამოყენების, ასევე გარემოს დაბინძურების იმ დონემდე გაზრდას, რომ კაცობრიობა არჩევანის წინაშე დგება - ან შეიცვალოს განვითარების გზა ან დასაღუპად გაიმეტოს საკუთარი თავი [3].

XXI საუკუნის მთავარი ამოცანაა სამრეწველო თუ სასოფლო-სამეურნეო მოღვაწეობის მდგრად განვითარებაზე გადაყვანა, ეს კი აუცილებლად, ხელს შეუწყობს ეკოლოგიური მდგრადობის გამყარებას და თავიდან აგვაცილებს გარემოს დაბინძურებას.

მიწათმოქმედების ქიმიზაციის ძირითად ბერკეტს სასუქები წარმოადგენს, რადგან მათი საშუალებით მიიღწევა მოსავლის მატება და დიდი ეკონომიკური ეფექტი. როდესაც სოფლის მეურნეობა უზრუნველყოფილი იქნება მინერალური სასუქებით, ისეთი, როგორცაა ნაკელი, თავის მნიშვნელობას მაინც არ დაკარგავს, რადგან იგი არაპირდაპირი საშუალებაა მინერალური სასუქების ქმედების კოეფიციენტის გასაზრდელად [2, 5].

რაც შეეხება სასოფლო-სამეურნეო წარმოებაში პესტიციდების გამოყენებას, ისინი უნდა აკმაყოფილებდეს გარკვეულ ჰიგიენურ მოთხოვნებს, რაც პირველ რიგში, ჯანმრთელობისათვის უვნებლობას გულისხმობს.

სოფლის მეურნეობის და მრეწველობის სწრაფი ტემპებით განვითარება, იწვევს ბუნებრივი წონასწორობის დარღვევას. საზოგადოების ფართო მასებისთვის ცნობილია, რომ სასუქების დადებითი როლი მის უარყოფით მხარეებთან შედარებით გაცილებით დიდია, ცნობილია ისიც, თუ რა შეიძლება მოჰყვეს სასუქების არანორმირებულ და არასწორ გამოყენებას. სწორედ სამრეწველო სასუქების გამოყენება გვამძევს სასოფლო-სამეურნეო მოსავლის გაზრდას თითქმის ორჯერ. ამის გარდა, სასუქები დადებითად მოქმედებენ ატმოსფერულ ჰაერზე, რაც იმით აიხსნება, რომ სასუქები აძლიერებენ ფოტოსინთეზის პროცესს, კონკრეტულად კი იზრდება ნახშირორჟანგის ასიმილაცია და ჟანგბადის გამოყოფის მატება [1].

ჩვენი ნაშრომის მიზანს წარმოადგენდა გამოვერკვია, რა სახის პესტიციდებს და აგროქიმიკატებს მოიხმარენ სოფლის მეურნეობაში დასაქმებული ადამიანები კახეთის რეგიონში და როგორია მათი

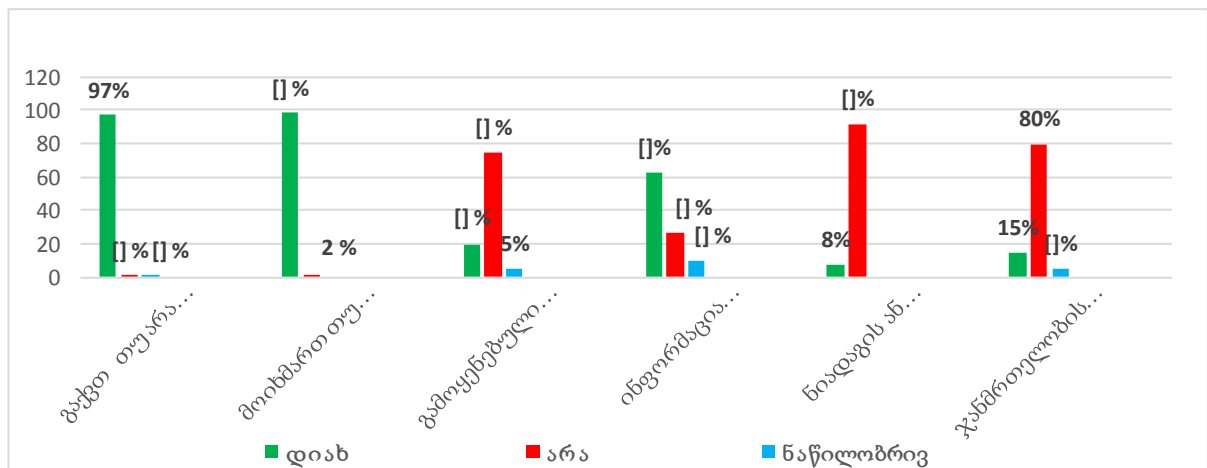
ურთიერთობა ამ ნაერთებთან, ასევე, რამდენად ინფორმირებულნი არიან ისინი ორგანიზმზე მათი ზემოქმედების შესახებ.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები: ჩვენი კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა თელავის მუნიციპალიტეტის სოფელი იყალთო, სადაც 2020 წლის მონაცემებით, ცხოვრობს 2030 ადამიანი. მოსახლეობის საქმიანობის ძირითადი სფერო მევენახეობაა, თუმცა მეზოსტნეობასაც უთმობენ დიდ ყურადღებას.

კვლევისათვის გამოვიყენეთ გამოკითხვის მეთოდი, რისთვისაც წინასწარ შევიმუშავეთ კითხვარები. გამოკითხვა ჩატარდა 2 ეტაპად, გამოკითხულ პირთა ანონიმურობის დაცვის პრინციპით.

კვლევის შედეგები: მოსახლეობის გამოკითხვა ჩავატარეთ ორ ეტაპად. პირველ ეტაპზე გამოვიკითხა 115 პირი, ხოლო მეორე ეტაპზე - 76. გამოკითხვის პირველი ეტაპი იყო ზოგადი ხასიათის და ეხებოდა მოსახლეობიდან იმ ინფორმაციის მოპოვებას, თუ რა იციან მათ აგროქიმიკატების და პესტიციდების შესახებ? რომელ პესტიციდს მოიხმარენ? აქვთ თუ არა რაიმე ინფორმაცია მათ მიერ მოხმარებული პესტიციდის შესახებ? იცავენ თუ არა მათ მიერ გამოყენებული პესტიციდის მოხმარებისას ნორმებს? თუ იცავენ ნორმებს, რაში გამოიხატება ეს? რამდენად კმაყოფილი არიან მათ მიერ შერჩეული პესტიციდის მოხმარებით? აქვთ თუ არა ინფორმაცია იმის შესახებ, თუ რა ზიანი შეიძლება მიაყენოთ პესტიციდების უკონტროლო გამოყენებამ? ჩაუტარებიათ თუ არა ნიადაგის ან წყლის ანალიზი პესტიციდის გამოყენების შემდეგ? გამოკითხვის შედეგები ასე გამოიყურება. (იხ. დიაგრამა1)

დიაგრამა 1. მოსახლეობის პირველი ეტაპის გამოკითხვის შედეგები



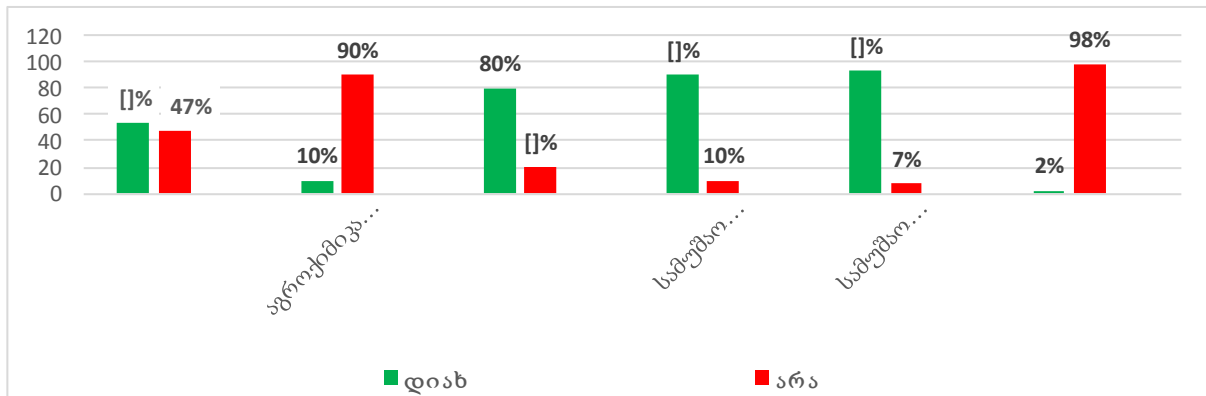
რაც შეეხება კითხვას ჩატარებული წყლის და ნიადაგის ანალიზის შესახებ, დაფიქსირდა პასუხები, რომ ორივე ანალიზის შედეგები ნორმის ფარგლებშია. კითხვაზე - შეუნიშნავთ თუ არა რაიმე პრობლემა ან ჯანმრთელობის გაუარესება აგროქიმიკატებთან ექსპოზიციის შემდეგ და რა სახის? პასუხები ასე გადანაწილდა:

- ❖ ალერგიული გამონაყარი კანზე - 8%
- ❖ თვალის გაღიზიანება - 5%
- ❖ სუნთქვის დროებითი გართულება - 2%

გამოკითხვის მეორე ეტაპზე, მოვახდინეთ ფოკუს ჯგუფის ფორმირება იმ პიროვნებებისგან, ვისაც აგროქიმიკატების და პესტიციდების გამოყენების რამდენიმე წლიანი პრაქტიკა ჰქონდა. მათი გამოკითხვა მოიცავდა კითხვებს: მიეთითებინათ გამოყენებული სასუქის ან პესტიციდის სახელწოდება; რომელ ინდივიდუალურ დაცვის საშუალებას იყენებენ? ინახავენ თუ არა აგროქიმიკატებს უსაფრთხო ადგილას? შეაქვთ თუ არა მინდორში აგროქიმიკატები წვიმიან ან ქარიან ამინდში? ხომ არ იყენებენ აგროქიმიკატების ცარიელ კონტეინერებს წყლის შესანახად? რეცხავენ თუ არა სამუშაო ტანსაცმელს აგროქიმიკატებთან მუშაობის შემდეგ? რეცხავენ თუ არა სამუშაო იარაღებს ნაკადულების ან ღია წყალსატევების ახლოს? როგორ ანადგურებენ პესტიციდების ცარიელ კონტეინერებს? ფიქრობენ თუ არა, რომ აგროქიმიკატების გამოყენება ნაკლებეფექტურია? გამოკითხვა იყო ანონიმური და ფოკუს ჯგუფის წევრებს ყველა პირობა ჰქონდათ შექმნილი იმისათვის, რომ კითხვებზე რეალური და გულახდილი პასუხები

გაეცათ. მათ განემარტათ, რომ აღნიშნული კვლევა ტარდებოდა მათ საკეთილდღეოდ, რათა გარკვეული პოზიტიური ნაბიჯები გადაიდგას მოსახლეობის ინფორმაციულობის გაზრდის კუთხით აგროქიმიკატების და პესტიციდების მოხმარებასთან დაკავშირებით. თუმცა ჩვენთვის ცნობილია, რომ გარკვეული ორგანიზაციები ატარებენ ყოველწლიურ კვლევას სოფლის მეურნეობაში სასუქების და პესტიციდების გამოყენებასთან დაკავშირებით. (მაგ.ერთ-ერთი ასეთი ორგანიზაცია არის „აგრო სოლუშენსი - AGRO SOLUTIONS“, რომელმაც ბოლო კვლევა 2020 წელს განახორციელა). [4, 6] მეორე ეტაპის გამოკითხვის შედეგები ასე გამოიყურება (იხ. დიაგრამა 2)

დიაგრამა 2. მოსახლეობის მეორე ეტაპის გამოკითხვის შედეგები



რომელ ინდივიდუალურ დაცვის საშუალებას იყენებთ? პასუხები ასე გადანაწილდა:

ხელთათმანი - 80%; სამუშაო კომბინიზონი 3%; ჩექმები 10%; ნიღაბი 0%; სათვალე 2%.

ჩვენთვის ძალიან საინტერესო და ამავდროულად, საგანგაშო აღმოჩნდა პასუხები კითხვაზე: როგორ ანადგურებთ პესტიციდების ცარიელ კონტეინერებს? სადაც სავარაუდო ორი პასუხიდან - „ვწვავ“ ან „ვმარხავ“, პასუხები ასე გადანაწილდა: ვწვავ - 0%; ვმარხავ - 0%.

მომხმარებლები აღნიშნავენ, რომ პესტიციდების ცარიელ კონტეინერებს უბრალოდ ყრიან ნაგავსაყრელებზე ან იყენებენ როგორც ჭურჭელს სხვადასხვა ნივთიერებების შესანახად.

კითხვაზე - თუ სასუქების რომელ სახეს ანიჭებენ უპირატესობას, დაფიქსირდა როგორც ნიტრატები (გვარჯილა), ასევე ფოსფატები - 50% / 50% - ზე. პესტიციდებიდან სოფლის მოსახლეობა უპირატესობას ანიჭებს შემდეგ პესტიციდებს:

- ❖ კლინი (გლიფოსატის იზოპროპილამინი) - ფართო მოქმედების ჰერბიციდი;

- ❖ ურაგან ფორტე (კალიუმის გლიფოსატი) - გამოიყენება ერთწლიანი და მრავალწლიანი სარეველების წინააღმდეგ;

- ❖ შოკი (გლიფოსატი იზოპროპილამინის მარილი) - ანადგურებს სარეველა მცენარეების ფესვთა სისტემას და ყლორტებს, გამოიყენება მრავალწლოვან კულტურებში.

დასკვნა: მოსახლეობა პოზიტიურად აფასებს სასუქების და პესტიციდების გამოყენებას და მიაჩნიათ, რომ მათი მოქმედება დადებითად აისახება მოსავლიანობაზე. მაგრამ საკმაოდ გაურკვეველი სიტუაციაა პესტიციდების გამოყენების კონტროლზე, კერძოდ მოსახლეობას არ გააჩნია ინფორმაცია მათი არასწორი გამოყენების ან/და მოხმარების შემთხვევაში რა რისკებთან ექნებათ საქმე, თავი რომ დავანებოთ ზარალს, რომელიც მათი უკონტროლო გამოყენებით შეიძლება მიადგეთ. მოსახლეობა, ასევე, არ არის ინფორმირებული იმ აღჭურვილობის შესახებ, რომელსაც უნდა მოიხმარდეს აგროქიმიკატებთან ექსპოზიციის დროს.

აგროქიმიკატებისა და პესტიციდებისაგან მიყენებული არასასურველი შედეგებისაგან მოსახლეობის დასაცავად, უპირველეს ყოვლისა, საჭიროა მოსახლეობის ინფორმირება აგროქიმიკატების და პესტიციდების არასწორი მოხმარების შედეგად გამოწვეულ საფრთხეებზე. აგრეთვე, მათი ცნობიერების გაზრდა იმ კუთხით, რომ პესტიციდების და სასუქების არასწორი და უკონტროლო გამოყენება საფრთხეს

უქმნის გარემოს, რაც საბოლოოდ, ხდება ატმოსფეროს, ნიადაგის, სასმელი და სარწყავი წყლების დაბინძურების მიზეზი.

ლიტერატურა

- [1] ზარდალიშვილი ო., ურუშაძე თ. სასუქების გამოყენება და გარემო. // თბილისი, საქართველო, 1992.
- [2] თხელიძე ა. სასუქების გამოყენების სისტემა. // თბილისი, მწიგნობარი, 2009.
- [3] მარშანია ი. აგროქიმია. // თბილისი, განათლება, 1991.
- [4] ვადაგასული პესტიციდების და ქიმიური ნივთიერებების მართვის პრობლემა. // კვლევა მომზადებულია აგროსოლუმენსის მიერ, 2020, <https://as.ge/pdf/1605540312.pdf> (მომიებულია 21.04.2023.)
- [5] საქართველოს ქიმიური პროფილი. // 2009. http://cenn.org/wssl/programs/Georgia_Chemicals_Profile_Geo.pdf
- [6] პესტიციდების შეფასების ანგარიში და უსაფრთხო გამოყენების სამოქმედო პროგრამული გეგმა. // შემოკლებული და ადაპტირებული ვერსია, CNFA., 2017, <https://gfa.org.ge/wp-content/uploads/2018/10/>, (მომიებულია 19.04.2023)

ASSESSMENT OF THE USE OF PESTICIDES AND AGROCHEMICALS ON THE EXAMPLE OF TELAVI MUNICIPALITY

Margalitashvili D., Davitashvili M.

*Iakob Gogebashvili Telavi State University, Telavi, Georgia
daredjan.margalistashvili@tesau.edu.ge*

Abstract. The aim of the paper is to evaluate the use of pesticides and agrochemicals in Telavi municipality. For this, in the village of Ikalto, a study was conducted to find out what kind of compounds the villagers consume, as well as how informed they are about them. The results of the study showed us that the population positively evaluates the use of fertilizers and pesticides, although a large part of the population does not know the dangers that can be posed to their health by the use of expired pesticides and agrochemicals and/or violation of norms.

Key words: pesticides, agrochemicals, environmental pollution.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MEAN MONTHLY AND ANNUAL CONCENTRATIONS OF PARTICULATE MATTER PM_{2.5} AND PM₁₀ IN TBILISI, BATUMI, KUTAISI AND RUSTAVI IN 2019-2022

Bliadze T., Chikhladze V., Chkhitunidze M., Kirkitadze D.

*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
vicachikh@gmail.com*

Abstract: Results of the comparative analysis of the mean monthly and annual concentrations of particulate matter PM_{2.5} and PM₁₀ at four locations of Georgia (Tbilisi, Batumi, Kutaisi and Rustavi) in 2019-2022 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_{2.5} and PM₁₀ in the study period of observations was studied. In particular, it was found that in Tbilisi in 2020-2021, compared to 2019, there was a significant decrease in the average annual concentration of aerosols due to restrictions on vehicle movement related to the Covid-19 pandemic. This tendency has continued in the post-Covid-19 period in 2022. It is noted that for the entire observation period, the average annual concentration of PM_{2.5} and PM₁₀ was above the permissible norm for all investigation locations.

Key words: Atmospheric aerosols, particulate matter, PM_{2.5}, PM₁₀.

Introduction

Over the past four decades in the Department of Atmospheric Physics at the M. Nodia Institute of Geophysics, TSU, various works were carried out on the study of atmospheric aerosols [1,2].

The results of studies of the long-term dynamics of surface air pollution in Tbilisi (weight concentration of aerosols, nitrogen oxides, sulfur dioxide, ozone) are presented in [3,4]. 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 in [5] are presented.

In [6], the results of a study of variations in the concentration of submicron aerosols with a diameter of $\geq 0.1 \mu\text{m}$ and their relationship with the content of radon (Rn) in the surface air layer of the city of Tbilisi are presented. Considerable attention was paid to studies of the relationship between aerosol pollution of the atmosphere, including radioactive pollution, and thunderstorm and hail processes, as well as the precipitation regime [7]. A comparative analysis of aerosol air pollution in Tbilisi and Kutaisi was carried out [8]. The possibility of using the METEOR 735CDP10 meteorological radar for monitoring the movement of dust formations in the atmosphere was considered [9].

Several studies have examined the effects of traffic restrictions in Tbilisi due to the Covid-19 pandemic on airborne air pollution levels [10-12] compared to the pre-pandemic period [13]. In general, it was found that the level of aerosol air pollution in the absence of vehicular traffic decreased significantly. Statistical characteristics of monthly mean and annual concentrations of particulate matter PM_{2.5} and PM₁₀ in three points of Tbilisi in 2017-2022 in [14] are presented.

This work is a continuation of previous studies [8-14]. Below are the results of the statistical analysis of the average monthly and annual concentrations of particulate matter PM_{2.5} and PM₁₀ at four locations of Georgia - Tbilisi, Batumi, Kutaisi and Rustavi in 2019-2022.

Study area, material and methods

Study area – four locations of Georgia (Tbilisi – Tb., Batumi – Bat., Kutaisi – Kut. and Rustavi – Rust.). The data of Georgian National Environmental Agency about the daily mean values of dust concentration (atmospheric particulate matter - PM_{2.5} and PM₁₀) [http://air.gov.ge/reports_page] that averaged on four indicated stations are used. Note that the data for Tbilisi are averaged over three observation points [14]. Period of observation: January 2019 - December 2022.

In the proposed work the analysis of data is carried out with the use of the standard statistical analysis methods [15,16]. Missed data of time-series of observations were restored in the correspondence with the standard methods [15].

The following designations will be used below: Min – minimal values; Max - maximal values; St Dev - standard deviation; $Cv = 100 \cdot \text{St Dev} / \text{Average}$, coefficient of variation (%); R coefficient of linear correlation. Tb_PM_{2.5}, Tb_PM₁₀ ...etc. - concentrations of particulate matter PM_{2.5} and PM₁₀ in Tbilisi ... etc. The difference between the mean values of PM with the use of Student's criterion was determined (level of significance α is not worse than 0.15).

In the correspondence with the standards of the World Health Organization maximum permissible concentration (MPC) composes: annual mean for PM_{2.5} - 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and for PM₁₀ - 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [17]. In the text below, the dimension of aerosol concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) is mostly omitted.

Results and discussion

Results in Fig. 1,3 and Table 1,2 are presented. In Fig. 1 time-series of mean monthly values of PM_{2.5} and PM₁₀ in Tbilisi, Batumi, Kutaisi and Rustavi in 2019-2022 are presented. Table 1 presents the statistical characteristics of the data shown in Fig. 1.

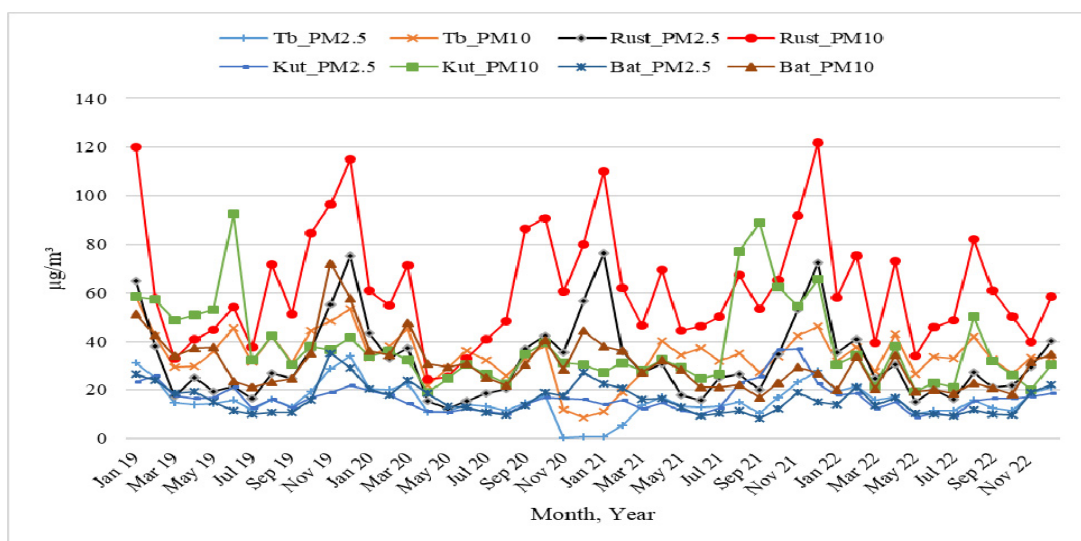


Fig. 1. Time series of mean monthly values of PM_{2.5} and PM₁₀ in Tbilisi, Batumi, Kutaisi and Rustavi in 2019-2022.

In particular, as follows from Fig. 1 and Table 1 the range of variability in 2019-2022 for PM_{2.5} values is from 0.5 (Tbilisi) to 76.3 (Rustavi), and PM₁₀ - from 8.6 (Tbilisi) to 121.7 (Rustavi). The range of variability of the average values of PM_{2.5} for the specified period of time is from 15.7 (Tbilisi) to 32.3 (Rustavi), and PM₁₀ - from 30.8 (Batumi) to 62.1 (Rustavi). Thus, the highest level of air pollution with solid particles PM_{2.5} and PM₁₀ is observed in Rustavi. The lowest level of air pollution with particulate matter PM_{2.5} is observed in Tbilisi, and PM₁₀ in Batumi.

Table 1. Statistical characteristics of mean monthly values of PM2.5 and PM10 in Tbilisi, Batumi, Kutaisi and Rustavi in 2019-2022.

Variable	Tb_ PM2.5	Tb_ PM10	Rust_ PM2.5	Rust_ PM10	Kut_ PM2.5	Kut_ PM10	Bat_ PM2.5	Bat_ PM10
Max	34.1	58.6	76.3	121.7	36.9	92.6	35.2	72.0
Min	0.5	8.6	12.4	24.3	8.6	19.2	8.3	17.0
Mean	15.7	34.0	32.3	62.1	16.7	38.4	16.2	30.8
St Dev	6.9	9.9	16.3	24.2	6.0	17.2	6.0	11.0
Cv,%	44.2	29.0	50.4	38.9	35.6	44.7	37.3	35.6
Correlation Matrix								
Tb_PM2.5	1	0.89	0.42	0.46	0.46	0.29	0.42	0.48
Tb_PM10	0.89	1	0.23	0.42	0.34	0.38	0.18	0.34
Rust_PM2.5	0.42	0.23	1	0.90	0.47	0.18	0.71	0.63
Rust_PM10	0.46	0.42	0.90	1	0.45	0.31	0.52	0.52
Kut_PM2.5	0.46	0.34	0.47	0.45	1	0.70	0.28	0.21
Kut_PM10	0.29	0.38	0.18	0.31	0.70	1	-0.01	0.04
Bat_PM2.5	0.42	0.18	0.71	0.52	0.28	-0.01	1	0.93
Bat_PM10	0.48	0.34	0.63	0.52	0.21	0.04	0.93	1

In general (Table 1), the linear correlation coefficient for all studied parameters varies from -0.01 (negligible correlation, pair Bat_PM2.5 - Kut_PM10) to 0.93 (very high correlation, pair Bat_PM2.5 - Bat_PM10). The R value for PM2.5 varies from 0.28 (negligible correlation, pair Bat_PM2.5 - Kut_PM2.5) to 0.71 (high correlation, pair Bat_PM2.5 - Rust_PM2.5). The R value for PM10 varies from 0.04 (negligible correlation, pair Bat_PM10 - Kut_PM10) to 0.52 (moderate correlation, pair Bat_PM10 - Rust_PM10).

In Table 2 Max and Min mean monthly values of PM2.5 and PM10 in Tbilisi, Batumi, Kutaisi and Rustavi from 2019 to 2022 are presented.

Table 2. Max and Min mean monthly values of PM2.5 and PM10 in Tbilisi, Batumi, Kutaisi and Rustavi in 2019-2022.

Variable	Tb_ PM2.5	Tb_ PM10	Rust_ PM2.5	Rust_ PM10	Kut_ PM2.5	Kut_ PM10	Bat_ PM2.5	Bat_ PM10
Year	2019							
Max	34.1	58.6	75.2	120.0	26.0	92.6	35.2	72.0
Min	11.9	29.4	16.7	32.9	12.5	30.7	10.0	21.3
Year	2020							
Max	22.7	45.1	56.8	90.6	19.8	39.4	27.3	47.7
Min	0.5	8.6	12.4	24.3	10.0	19.2	9.6	22.1
Year	2021							
Max	27.9	46.2	76.3	121.7	36.9	89.0	22.5	37.9
Min	0.8	11.3	15.7	44.5	10.0	24.9	8.3	17.0
Year	2022							
Max	21.7	43.1	40.8	82.2	18.7	50.3	22.3	34.7
Min	10.2	26.5	15.0	33.9	8.6	19.6	9.3	18.3

In different years, air pollution in the cities under study varies within the following limits (Table 2).

PM2.5: 2019 - from 10 (Batumi) to 75.2 (Rustavi); 2020 - from 0.5 (Tbilisi) to 56.8 (Rustavi); 2021 - from 0.8 (Tbilisi) to 76.3 (Rustavi); 2022 - from 8.6 (Kutaisi) to 40.8 (Rustavi).

PM10: 2019 - 21.3 from (Batumi) to 120 (Rustavi); 2020 - from 8.6 (Tbilisi) to 90.6 (Rustavi); 2021 - from 11.3 (Tbilisi) to 121.7 (Rustavi); 2022 - from 18.3 (Batumi) to 82.2 (Rustavi).

Fig. 2 presented mean annual values of PM2.5 and PM10 in Tbilisi, Batumi, Kutaisi and Rustavi from 2019 to 2022.

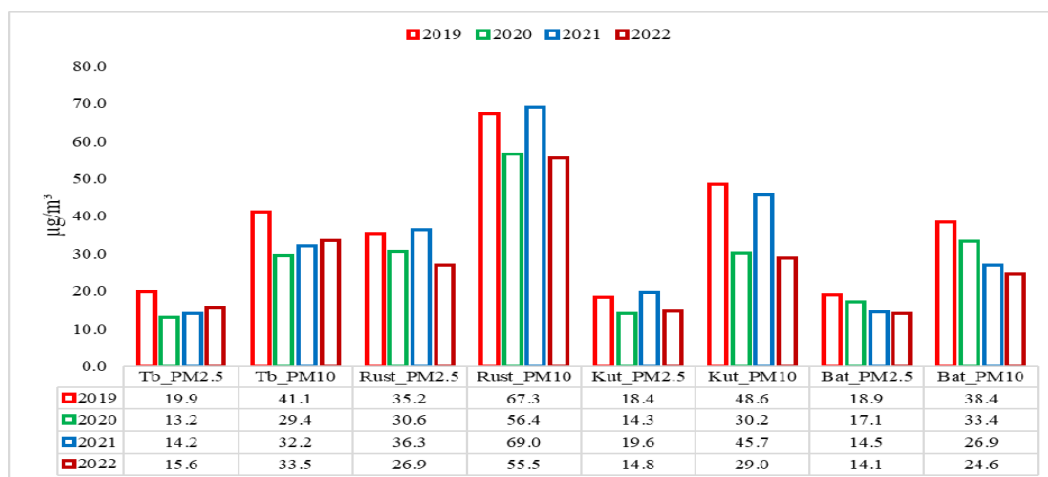


Fig. 2. Mean annual values of PM2.5 and PM10 in Tbilisi, Batumi, Kutaisi and Rustavi in 2019-2022.

Compared to 2019 (Pre-Covid-19 period), in subsequent years, significant changes in the average annual concentration of particulate matter in the air were observed in the following cities (Fig. 2).

- 2020 (Covid-19 period): Tbilisi and Kutaisi, decrease in concentrations of PM2.5 and PM10.
- 2021(Covid-19 period): Tbilisi and Batumi, decrease in concentrations of PM2.5 and PM10.
- 2022 (Post-Covid-19 period): Tbilisi, decreased concentrations of PM2.5 and PM10. Kutaisi and Batumi - decrease in PM10 concentration.

Note that Covid-19 restrictions on the movement of transport had the greatest effect on reducing the level of air pollution in Tbilisi (2020 and 2021), in Kutaisi this effect was observed in 2020, in Batumi - in 2021. In Rustavi, this effect was not observed.

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 various 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] 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).
- [2] 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).
- [3] Amiranashvili A., Amiranashvili V., Gzirishvili T., Gunia G., Intskirveli L., Kharchilava J. Variations of the Weight Concentrations of Dust, Nitrogen Oxides, Sulphur Dioxide and Ozone in the Surface Air in Tbilisi.// Proc.15th Int. Conf. on Nucleation and

- Atmospheric Aerosols, Rolla, Missouri, USA, 2000, August, 6-11, AIP, Conference Proc., vol.535, Melville, New York, 2000, p. 793-795.
- [4] Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Kharchilava J.F., Buachidze N.S., Intskirveli L.N. Variations of the Weight Concentrations of Dust, Nitrogen Oxides, Sulphur Dioxide and Ozone in the Surface Air in Tbilisi in 1981-2003. // Proc. 16th International Conference on Nucleation&Atmospheric Aerosols, Kyoto, Japan, 26-30 July 2004, pp. 678-681.
- [5] 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).
- [6] 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.
- [7] 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.97-89941334658>
- [8] 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.
- [9] Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Mitin M.N.// Preliminary Results of the Analysis of Radar and Ground-Based Monitoring of Dust Formation in Atmosphere Above the Territory of Eastern Georgia on 27 July 2018. // Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 21(2), Tbilisi, 2018, pp. 61-69.
- [10] 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.
- [11] Kirkitadze D. Changeability of Monthly Mean Values of PM_{2.5} and PM₁₀ in Three Points of Tbilisi from January 2017 to October 2021. Pandemic of Coronavirus Covid-19 and PM_{2.5}/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.
- [12] Kirkitadze D. Variability of Monthly Mean Values of PM_{2.5} and PM₁₀ in Three Points of Tbilisi from January 2017 to May 2020. Pandemic of Coronavirus COVID-19 and PM_{2.5}/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.
- [13] 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.
- [14] Kirkitadze D.D. Statistical Characteristics of Monthly Mean and Annual Concentrations of Particulate Matter PM_{2.5} and PM₁₀ 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.
- [15] Kobisheva N., Narovlianski G. Climatological processing of the meteorological information, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1978, 294 p., (in Russian).
- [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.
- [17] 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

PM2.5 და PM10 დროში ცვლილება ქ. ქუთაისის ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების მონიტორინგის მონაცემების მიხედვით

ა. სურმავა ა., გიგაური ნ., კუხალაშვილი ვ., ინჭირველი ლ.

**ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, სტუ, თბილისი, საქართველო
*მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
aasurmava@yahoo.com*

ანოტაცია. ატმოსფერული ჰაერის მონიტორინგის მონაცემების ანალიზის საშუალებით შესწავლილია ქ. ქუთაისის ატმოსფერული ჰაერის PM2.5 და PM10-ით დაბინძურების თავისებურება. განსაზღვრულია მიკროაეროზოლების 2018 -2020 წლების საშუალო წლიური კონცენტრაციები და 2022 წლის მარტი-მაისის თვეების საშუალო თვიური კონცენტრაციები. განსაზღვრულია დღეთა და დაკვირვებათა რაოდენობები, როდესაც საშუალო დღიური კონცენტრაცია აღემატება შესაბამის ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს.

საკვანძო სიტყვები: ქ. ქუთაისი, ატმოსფერული ჰაერი, PM2.5 და PM10 კონცენტრაცია.

შესავალი. XX საუკუნეში, განსაკუთრებით მის მეორე ნახევარში, მრეწველობისა და ტრანსპორტის ინტენსიურმა განვითარებამ, მასთან დაკავშირებულმა ატმოსფეროს ანთროპოგენული დატვირთვის ზრდამ მეტად საშიში კლიმატური, გარემოს დაცვისა და ადამიანთა ჯანმრთელობის შენარჩუნების პრობლემები შექმნა. მათი დაძლევა გადაიქცა საერთაშორისო-პრაქტიკულ, სამეცნიერო და კონკრეტულ სახელმწიფოებრივ ამოცანად.

განსაკუთრებით აღსანიშნავია ადამიანთა ჯანმრთელობის შენარჩუნების პრობლემა, რომელიც მეტად მგრძობიარეა გარემოს სისუფთავის ხარისზე [1-4]. ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის მონაცემებით 2016 წელს მოსახლეობის სიკვდილიანობის 7.6% გამოწვეული იყო ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებით [5]. შესაბამისად, გარემოს დაბინძურების შესწავლა, მისი შემცირების ღონისძიებების დამუშავება მნიშვნელოვან ეკოლოგიურ და საზოგადოების ჯანმრთელობის დაცვის ამოცანას წარმოადგენს. ეს პრობლემა განსაკუთრებით აქტუალურია ინდუსტრიული სახელმწიფოების და დიდი ქალაქებისთვის, რომლებიც დაბინძურების წყაროების სიმრავლით, ინგრედიენტთა მრავალფეროვნებით და დაბინძურების მაღალი დონეებით გამოირჩევიან.

PM2.5 და PM10 ატმოსფერული ჰაერის ერთ-ერთი ძირითადი დამაბინძურებელი ინგრედიენტებია, რომლებიც ძლიერ ნეგატიურ ზემოქმედებას ახდენენ ადამიანთა ჯანმრთელობაზე: იწვევენ გულის დაავადებას, ფილტვის კიბოს, ინსულტს და სხვა დაავადებებს, ხშირად სიკვდილსაც კი [6-8]. ზემოქმედება, რომელიც მოსალოდნელია გამოიწვევს ატმოსფერულ ჰაერში PM-ის არსებობამ, მოახდინოს ზეგავლენა ადამიანთა ჯანმრთელობაზე და სასიცოცხლო პირობებზე გაანალიზებულია [4]-ში. მასში ასახულია იურიდიული, ეკოლოგიური, სოციალური და სხვა ამოცანები, რომლებიც არსებობს ამერიკის შეერთებულ შტატებში გარემოს უმცირესი ნაწილაკებით (PM) დაბინძურების პრობლემის შესასწავლად და გადასაწყვეტად.

განსაკუთრებით მაღალია PM2.5 და PM10 კონცენტრაციები აზიის სახელმწიფოების ინდუსტრიულ ცენტრებში და მეგაპოლისებში [10, 11], სადაც მათი შემცველობა ჰაერში ხშირად რამდენიმე ათეულჯერ აღემატება ზღვრულად დასაშვებ საშუალო დღეღამურ კონცენტრაციის მნიშვნელობებს. საყურადღებოა ასევე ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება მცირე ქალაქებსა და დასახლებულ პუნქტებში [5-7].

2022 წლის მონაცემებით [11] PM2.5 - ით მსოფლიოს 10 ყველაზე მეტად დაბინძურებულ სახელმწიფოებს მიეკუთვნებიან: ჩადი, ერაყი, პაკისტანი, ბანგლადეჟი, ბურკინა ფასო, კუვეიტი, ინდოეთი, ეგვიპტე და ტაჯიკეთი. ამ სახელმწიფოების ჰაერის ხარისხის საშუალო წლიური ინდექსი (ჰხი) იცვლება 89.7-დან 46-მდე.

ქალაქების მიხედვით ყველაზე მეტად დაბინძურებულია პაკისტანის ქალაქი ლაჰორი, რომლის ჰბი 97.7-ია, ხოლო 10 ყველაზე მეტად დაბინძურებულ ქალაქებს შორისაა: ჩინეთის, ინდოეთის, პაკისტანის და ჩადის ქალაქები. მათი ჰბი 89.7- 88.9-ის ფარგლებშია.

ევროპის 50 ყველაზე მეტად დაბინძურებულ სახელმწიფოების სიაში შედიან: ბოსნია ჰერცეგოვინა (ჰბი - 33.6), ჩრდილოეთ მაკედონია (ჰბი-25.6), სერბია (ჰბი-24.7), ხორვატია (ჰბი-23.5), მოლდავეთი (ჰბი-22.6) საბერძნეთი (ჰბი-19) [11] და სხვა.

საქართველოს ქალაქებიდან ატმოსფეროში PM2.5 და PM10-ზე რეგულარული დაკვირვებები მიმდინარეობს ქალაქებში: თბილისი, რუსთავი და ბათუმი. 2022 წლის მონაცემების მიხედვით, მათი ჰბი შესაბამისად 16.3, 26.5 და 14.1-ის ტოლია.

ქ. ქუთაისი საქართველოს უძველესი და სიდიდით მეორე ქალაქია. იგი საქართველოს იმერეთის რეგიონის ადმინისტრაციული ცენტრია. მისი მოსახლეობა 147 ათას ადამიანზე მეტია. ერთ დროს ინდუსტრიული ცენტრი დღეისათვის ტურისტული და კულტურულ-რეკრეაციული დანიშნულების ქალაქია. ქალაქში და მის უახლოეს შემოგარენში განლაგებულია საერთაშორისო მნიშვნელობის საკურორტო ქალაქი წყალტუბო, ისტორიული ძეგლები: ბაგრატის ტაძარი, იუნესკოს კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლი-გელათის სამონასტრო კომპლექსი, გეგუთის სასახლე, მარტვილის და მოწამეთას მონასტრები; ტურისტული ობიექტები - სათაფლიის და პრომეთეს მღვიმეები, კინჩხის, მარტვილის და ბალდის კანიონები და სხვა.

ქუთაისი, ასევე, მსხვილი სატრანსპორტო კვანძია, მის მახლობლად გადის დიდი აბრეშუმის გზა და მდებარეობს საერთაშორისო მნიშვნელობის აეროპორტი. ქალაქის ვიწრო გზებზე მოძრაობს ათასობით ავტომობილი. ავტოტრანსპორტის მოძრაობა განსაკუთრებით ინტენსიურია ზაფხულისა და შემოდგომის სეზონში. შედარებით სუსტადაა წარმოდგენილი ინდუსტრიული საწარმოები. ისინი შემოიფარგლებიან საამშენებლო, ასფალტ-ბეტონის და ცალკეული შემკეთებელი და ავტოსატრანსპორტო საწარმოებით. ქალაქის სოციალურ-ეკონომიკური ფუნქცია, ფიზიკო-გეოგრაფიული მდებარეობა, კლიმატი და ინფრასტრუქტურა განსაზღვრავს ქუთაისის ეკოლოგიურ მდგომარეობი შესწავლის აუცილებლობას.

ქ. ქუთაისი ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების მონიტორინგი ხორციელდება 20-ე საუკუნის 70 წლებიდან. დღეისათვის გაზომვები წარმოებს ჭავჭავაძის გამზირისა და ასათიანის ქუჩის გადაკვეთაზე მდებარე გარემოს ეროვნული სააგენტოს ერთ სადამკვირებლო პუნქტზე (ი. ასათიანის ქ. 98). განისაზღვრება ატმოსფერული ჰაერის დამაბინძურებელი 4 ძირითადი ნივთიერება, NO₂, SO₂, O₃ და CO. PM2.5 და PM10- ს მათი კონცენტრაციები განისაზღვრება 2018. წლიდან.

კვლევის შედეგები. ცხრ. 1-ში მოცემულია მიკრონაწილაკების საშუალო წლიური კონცენტრაციების მნიშვნელობები და საშუალო დღიური კონცენტრაციების ზღვ-ზე გადამეტების რაოდენობები (N) 2018-2019 წლებში, მიღებული ჰაერის ხარისხის მონიტორინგის ქსელის სადგურზე ჩატარებული რეგულალური გაზომვებით [12]. ცხრ. 1-დან ჩანს, რომ აღნიშნულ წლებში PM2.5 -ის საშუალო წლიური კონცენტრაციები ნაკლებია ზღვ-ზე (25 მკგ/მ³), ის მინიმალურია 2020 წელს და მაქსიმალურია 2019 წელს. თვისობრივად ანალოგიურ განაწილებას აქვს ადგილი PM10-თვის. მისი საშუალო წლიური კონცენტრაციები ნაკლებია ზღვ-ზე (59 მკგ/მ³), მინიმალურია 2020 წელს (30 მკგ/მ³) და მაქსიმალურია 2019 წ (49 მკგ/მ³). შესაბამისად, 2019 წელი ხასიათდება ზღვ-ზე მაქსიმალური გადაჭარბებების რაოდენობით - 115 დაკვირვება. ცხრილი 1-ში მოცემულია PM2.5 და PM10-ის საშუალო წლიური კონცენტრაციები და PM10-ის საშუალო დღიური კონცენტრაციის ზღვ-ზე გადამეტებათა რიცხვი (N).

ცხრილი 1. PM2.5 და PM10-ის საშუალო წლიური კონცენტრაციები და PM10-ის საშუალო დღიური კონცენტრაციის ზღვ-ზე გადამეტებათა რიცხვი (N)

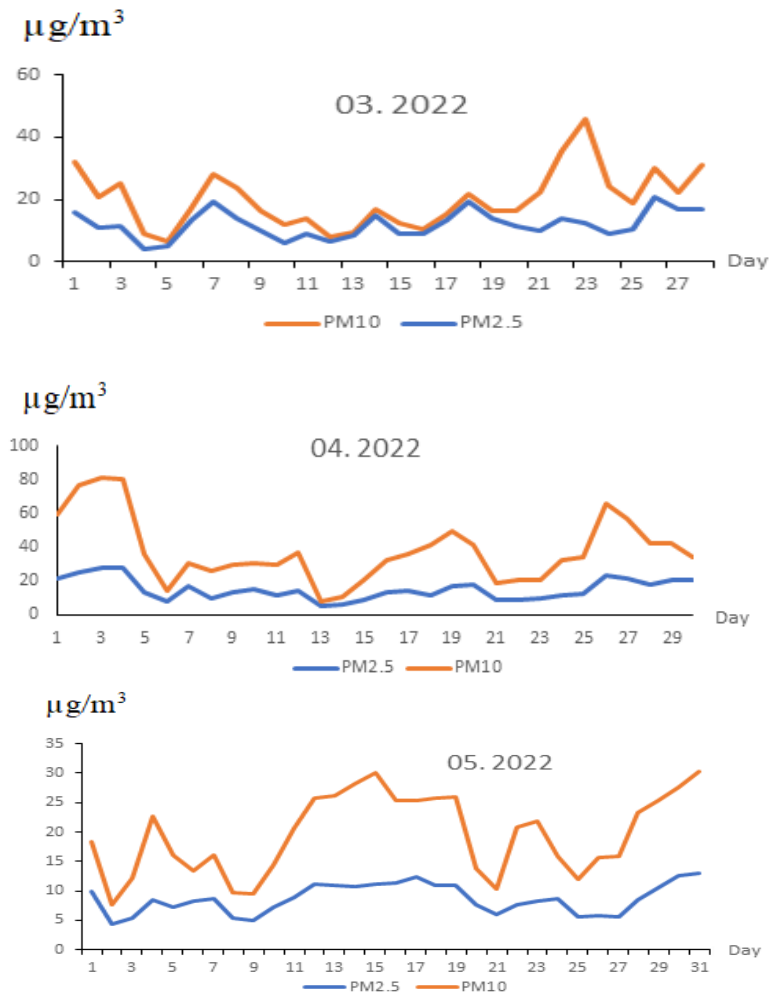
წელი	2018	2019	2020
PM2.5 (მკგ/მ ³)	16	18	14
PM10 (მკგ/მ ³)	40	49	30
N	68	115	25

2020-2023 წლებში ქ. ქუთაისში ატმოსფერულ ჰაერში მიკროაეროზოლების შემცველობის მონაცემები (ტექნიკური მიზეზებით) გამოქვეყნებულია მხოლოდ 2023 წლის მარტი-მაისის თვეებისათვის. არსებული მონაცემების ანალიზი ასახულია ცხრ. 2, ნახ. 1 და ნახ. 2-ზე.

ცხრილი 2. PM2.5 და PM10-ის საშუალო თვიური კონცენტრაციები და PM10-ის საშუალო საათობრივი კონცენტრაციის ზღვ-ზე გადამეტებათა რიცხვი (M)

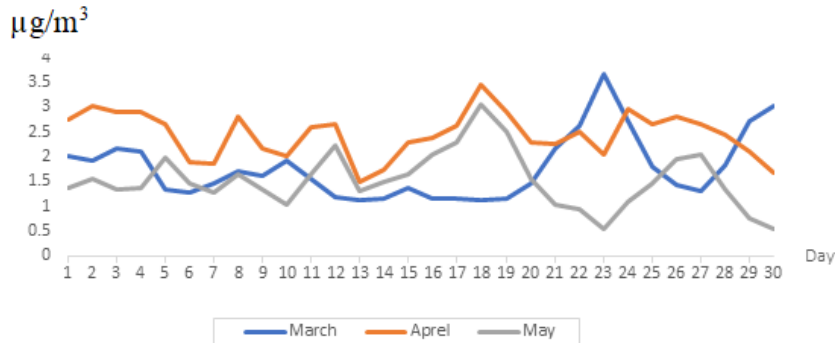
თვე	მარტი	აპრილი	მაისი
PM2.5 (მკგ/მ ³)	12	15	9
PM10 (მკგ/მ ³)	22	38	20
M	34	176	7

ცხრ. 2-დან ჩანს, რომ აღნიშნული თვეების განმავლობაში მიკროაეროზოლების შემცველობა ქ. ქუთაისის ატმოსფეროში არ აღემატება ზღვრულად დასაშვებ საშუალო დღე-ღამურ კონცენტრაციებს. PM2.5 -ის საშუალო თვიური კონცენტრაცია მაქსიმალურია აპრილის და მინიმალურია მაისის თვეში. თვისობრივად ანალოგიურ განაწილებას აქვს ადგილი PM10-ის შემთხვევაში. მისი საშუალო თვიური კონცენტრაცია შედარებით მაღალია აპრილის თვეში (38 მკგ/მ³). განსაკუთრებით მაღალია აპრილში ასევე იმ დაკვირვებათა რიცხვი, რომლის დროსაც PM10-ის საშუალო საათობრივი კონცენტრაცია აღემატებოდა საშუალო დღე-ღამურ კონცენტრაციას. ნახ.1 ზე ნაჩვენებია ჰაერის ხარისხის მონიტორინგის პუნქტში 2022 წლის მარტი, აპრილის და მაისის თვეებში მიკროაეროზოლების საშუალო დღიური კონცენტრაციების ცვლილების გრაფიკი.



ნახ. 1. 2022 წლის მარტი, აპრილისა და მაისის თვეებში PM2.5 და PM10 -ი საშუალო დღიური კონცენტრაციების მნიშვნელობები ატმოსფერული ჰაერის ხარისხის მონიტორინგის პუნქტში

ნახ.1-დან ჩანს, რომ PM2.5 და PM10-ის საშუალო დღე-ღამური კონცენტრაციების დროში ცვლილება თვისობრივად ერთნაირია. მათი ლოკალური მაქსიმალური მნიშვნელობები დაიკვირვება თვეში 3-4-ჯერ. PM10-ის კონცენტრაცია ყოველთვის აღემატება PM 2.5-ის კონცენტრაციას (ნახ. 1) და შეფარდება PM10/PM2.5 0- 3.8 ინტერვალის ფარგლებშია (ნახ.2). ის შედარებით მაღალია აპრილის თვეში, ხოლო მარტის და მაისის თვეებში იცვლება პრაქტიკულად ერთი და იგივე ინტერვალში.



ნახ.2. PM10/PM2.5 კონცენტრაციათა შეფარდება 2022 წლის მარტის, აპრილის და მაისის თვეებში.

დასკვნა. გარემოს ეროვნული სააგენტოს მონიტორინგის ქსელის მონაცემების გამოყენებით გაანალიზირებულია ქ. ქუთაისის ატმოსფერულ ჰაერში PM2.5 და PM10 - ის დროში ცვლილება. მონაცემები მიღებულია ქალაქის ერთ-ერთ მეტად ინტენსიური საავტომობილო მოძრაობის პუნქტში - ი. ასათიანის ქ. No. 98. განსაზღვრულია 2018-2020 წლების საშუალო წლიური კონცენტრაციები და 2022 წლის მარტი-მაისის თვეების საშუალო თვიური კონცენტრაციები. დადგენილია დღეების რაოდენობა, როდესაც PM10 - ის საშუალო საათობრივი კონცენტრაცია აჭარბებს საშუალო სადღეღამისო კონცენტრაციას.

მაღლიერების გამოხატვა: ნაშრომი შესრულებულია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფუნდამენტალური კვლევების გრანტის FR-22-4765 ფინანსური მხარდაჭერით.

ლიტერატურა

- [1] Samet J.M., Zeger S.L., Dominic F., Curriero F., et al. The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study. Part II: Morbidity and Mortality from Air Pollution in the United States // Research Report, 94, Health Effects Institute: Cambridge, MA, USA, 2000.
- [2] Pope C.A., Burnett R.T., Thun M.J., Calle E.E, Krewski D., et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. // J. Am. Med. Assoc, 287, 2002, pp. 1132-1141.
- [3] Katsouyanni K., Touloumi G., Spix C., Schwartz J., et al. Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: Results from time series data from the APHEA project. // BMJ, 314, 1997, pp.1658-1663.
- [4] World Health Organization. Regional Office for Europe. // Review of evidence on health aspects of air – REVIHAAP Project, First result. <https://media.xpair.com › pdf › REVIHAAP PDF>
- [5] Mortality and burden of disease from ambient air pollution. // WHO, https://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/burden/en/.
- [6] Apte J.S., Marshall J.D., Cohen A.J., Brauer M. Addressing Global Mortality from Ambient PM2.5. // Environ. Sci. Technol, 49, 13, 2015, pp. 8057-8066. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01236>.
- [7] Lefler J.S., Higbee J.D., Burnett R.T., Ezzati M., Coleman N.C., Mann D.D., Marshall J.D., Bechle M., Wang Y., Robinson A.L., Pope C.A. Air pollution and mortality in a large, representative U.S. cohort: multiple pollutant analyses, and spatial and temporal decompositions. // Environmental Health, volume 18, Article number: 101, 2019.
- [8] Dockery D.W., C. Pope C.A., Xu X., Spengler J.D., Ware J.H., Fay M.E., Ferris B.G., Speizer F.E. An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. // The New England Journals of Medicine. Volume 329, Number 24, December 9, 1993, pp. 1753-1759.
- [9] United States Environmental Agency. Integrated Science Assessment for Particulate Matter. // EPA/600/R-19/188 December 2019 www.epa.gov/isa
- [10] World's most polluted cities (historical data 2017-2022). // <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities>
- [11] World's Most Polluted Cities in 2022 - PM2.5 Ranking. IQAir. // <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities> IQAir
- [12] ჰაერის ხარისხი. // https://air.gov.ge/reports_page

A TIME VARIATION OF THE PM_{2.5} AND PM₁₀ CONCENTRATIONS ACCORDING TO THE KUTAISI ATMOSPHERIC AIR POLLUTION MONITORING NETWORK DATA

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

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

*** Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
aasurmava@yahoo.com*

Abstract. Through the analysis of the atmospheric air monitoring data the features of atmospheric air pollution in Kutaisi with PM_{2.5} and PM₁₀ microaerosols were studied. The average annual concentrations of microaerosols for the years 2018-2020 and the average monthly concentrations for the months of March-May 2022 have been determined. The number of days and observations when the average daily concentration exceeds the respective maximum allowable concentrations is defined.

Key words: c.Kutaisi, Atmospha, PM_{2.5} and PM₁₀ concentration

ქ. ქუთაისის ატმოსფეროში PM_{2.5} და PM₁₀ კონცენტრაციის ველი მიღებული ექსპერიმენტული გაზომვებით

*. "სურმავა ა., გიგაური ნ., კუხალაშვილი ვ., ინწკირველი ლ.

**ვიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, სტუ, თბილისი, საქართველო
*მიხეილ ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
aasurmava@yahoo.com*

ანოტაცია. ექსპერიმენტული ნატურული გაზომვებით შესწავლილია ქ. ქუთაისისა და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე ატმოსფერულ ჰაერში PM_{2.5} და PM₁₀ კონცენტრაციები. გაზომვები ჩატარებულია პორტატული გამზომი მოწყობილობით Aeroqual Series 500. მიღებული მონაცემებით აგებულია მიკრო-აეროზოლების ზედაპირული განაწილების სურათი, დადგენილია შედარებით მაღალი და დაბალი კონცენტრაციების ზონები. მიღებული შედეგები გამოყენებული იქნება ქ. ქუთაისის ატმოსფეროს PM ნაწილაკების დაბინძურების კომპიუტერული მოდელის დამუშავებისათვის.

საკვანძო სიტყვები: ქ. ქუთაისი, ატმოსფერული ჰაერი, PM_{2.5} და PM₁₀ კონცენტრაცია.

უკანასკნელი 50 წლის განმავლობაში, ქალაქების ატმოსფერული ჰაერის PM_{2.5} და PM₁₀ მიკრო-ნაწილაკებით დაბინძურებისაგან დაცვა მეტად აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს ჯანმრთელობის დაცვის კუთხით. ეს ნაწილაკები, მათი მეტად მცირე ზომების გამო, თავისუფლად აღწევენ ადამიანთა შინაგან ორგანოებში აზიანებენ გულ-სისხლძარღვთა სისტემას, იწვევენ ფილტვების კიბოს, ინსულტს და სხვა დაავადებებს [1-4]. ჯანმრთელობის დაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის მონაცემებით ადამიანთა სიკვდილიანობის 7% გამოწვეულია ატმოსფერული ჰაერის მიკრო აეროზოლებით დაბინძურებით [5-11].

ატმოსფერულ ჰაერში PM_{2.5} და PM₁₀ არსებობა დაკავშირებულია სამრეწველო, აგრარულ და სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურის განვითარებასთან. ამავე დროს, საქართველოს ატმოსფეროში PM_{2.5} და PM₁₀ კონცენტრაციის რამდენიმე დღიანი მკვეთრი გაზრდა უმეტეს შემთხვევაში გამოწვეულია სინოპტიკური პროცესებით - საჰარისა და შუა აზიის უდაბნოების მტვრის დიდმასშტაბიან გადატანასთან [12].

ინდუსტრიულ ცენტრებში და დიდ ქალაქებში PM_{2.5} და PM₁₀-ით დაბინძურების ძირითად წყაროს სამრეწველო საწარმოები და ავტოტრანსპორტი წარმოადგენს, ადმინისტრაციულ ცენტრებში და საკურორტო რეკრეაციულ ქალაქებში - ავტოტრანსპორტი.

საქართველოს ქალაქებში ატმოსფერულ ჰაერის PM_{2.5} და PM₁₀-ით დაბინძურების მონიტორინგი იწყება 2018 წლიდან. რეგულარული დაკვირვებები ხორციელდება ქალაქებში: თბილისი, ქუთაისი, რუსთავი, ბათუმი, მონიტორინგის შედეგები გაანალიზირებულია ნაშრომებში [12-18].

ქუთაისი საქართველოს სიდიდით მეორე ქალაქია. მისი მოსახლეობა 147 ათას ადამიანს აღემატება. ერთ დროს ინდუსტრიული ქალაქი, დღეისათვის იმერეთის რეგიონის ადმინისტრაციული და კულტურულ-რეკრეაციული ცენტრია. ქალაქში და მის შემოგარენში განლაგებულია საერთაშორისო მნიშვნელობის საკურორტო ქალაქი წყალტუბო, ისტორიული ძეგლები: ბაგრატის ტაძარი, იუნესკოს კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლი-გელათის სამონასტრო კომპლექსი, გეგუთის სასახლე, მარტვილის და მოწამეთას მონასტერი. ტურისტული ობიექტები - სათაფლიის და პრომეთეს მღვიმეები, კინჩხის, მარტვილის და ბალდის კანიონები და სხვა.

ქუთაისი, ასევე, მსხვილი სატრანსპორტო კვანძია, მის მახლობლად გადის დიდი აბრეშუმის გზა და მდებარეობს საერთაშორისო მნიშვნელობის აეროპორტი. ქალაქის ვიწრო გზებზე მოძრაობს ასობით ავტომობილი. ავტოსატრანსპორტის მოძრაობა განსაკუთრებით ინტენსიურია ზაფხულისა და შემოდგომის სეზონში. შედარებით სუსტადაა წარმოდგენილი ინდუსტრიული საწარმოები. ისინი შემოიფარგლებიან საამშენებლო, ასფალტ-ბეტონის და ცალკეული შემკეთებელი და ავტოსატრანსპორტო საწარმოებით. ქალაქის სოციალურ-ეკონომიკური ფუნქცია, ფიზიკო - გეოგრაფიული მდებარეობა, კლიმატი და ინფრასტრუქტურა განსაზღვრავს ქუთაისის ეკოლოგიურ მდგომარეობის შესწავლის აუცილებლობას.

გამომდინარე ქ. ქუთაისის სოციალურ -ეკონომიკური ფუნქციიდან, მის ატმოსფერულ ჰაერში PM2.5 და PM10 დროითი ცვლილება და სივრცითი განაწილების შესწავლა აქტუალური ამოცანაა. აღნიშნულ პრობლემას ეხება წარმოდგენილი სტატია.

ქ. ქუთაისის ატმოსფეროში PM2.5 და PM10 - ის კონცენტრაციაზე რეგულარული დაკვირვება იწყება 2018 წლიდან ერთ სადამკვირებლო პუნქტზე. სადამკვირებლო პუნქტი მდებარეობს ლ. ასათიანის ქუჩისა და ი. ჭავჭავაძის გამზირის გადაკვეთ საავტომობილო ტრანსპორტის მოძრაობით მეტად დატვირთულ გზაჯვარედინზე (ლ. ასათიანის ქ. # 98). დაკვირვება ხორციელდება ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების მონიტორინგის ფარგლებში გარემოს ეროვნული სააგენტოს მიერ.

ცხრილ 1-ში მოცემულია ქ.ქუთაისის ატმოსფეროში 2020 წლის მარტი-მაისის თვეებში მიკრო-ნაწილაკების საშუალო თვიური კონცენტრაციების მნიშვნელობები და PM10-ის საშუალო საათობრივი კონცენტრაციის ზღვ-ზე გადამეტებათა რიცხვი (M).

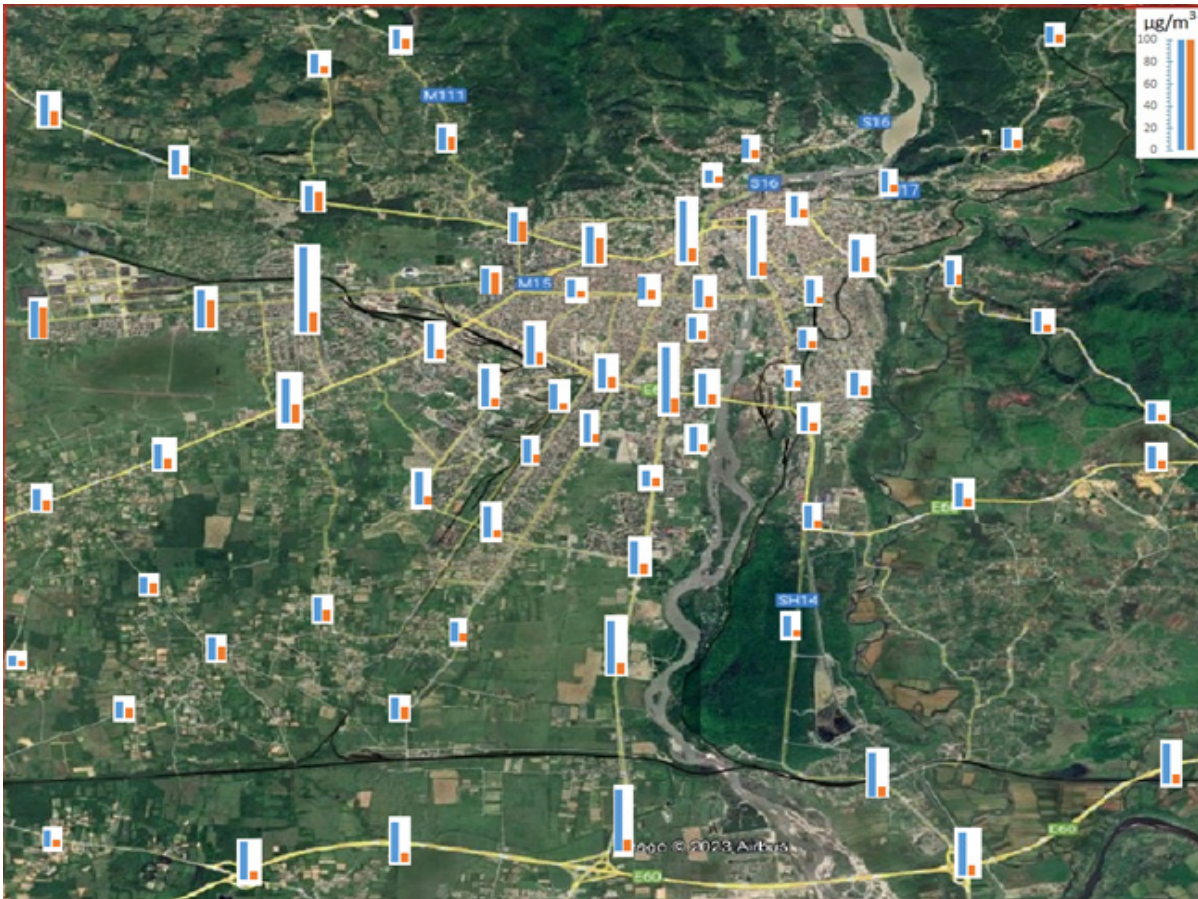
ცხრილი 1. PM2.5 და PM10-ის საშუალო თვიური კონცენტრაციები და PM10-ის საშუალო საათობრივი კონცენტრაციის ზღვ-ზე გადამეტებათა რიცხვი (M)

თვე	მარტი	აპრილი	მაისი
PM2.5 (მკგ/მ ³)	12	15	9
PM10 (მკგ/მ ³)	22	38	20
M	34	176	7

ცხრ. 1 - დან ჩანს, რომ განხილულ პერიოდში ქ. ქუთაისის ატმოსფეროში მიკრონაწილაკების კონცენტრაციები არ აღემატებიან ზღვრულად დასაშვებ საშუალო დღე-ღამურ კონცენტრაციებს. PM2.5-ის საშუალო თვიური კონცენტრაცია მაქსიმალურია აპრილის და მინიმალურია მაისის თვეში. თვისობრივად ანალოგიურ განაწილებას აქვს ადგილი PM10-ის შემთხვევაშიც. მისი საშუალო თვიური კონცენტრაცია შედარებით მაღალია აპრილის თვეში (38 მკგ/მ³). განსაკუთრებით მაღალია აპრილში ასევე იმ დაკვირვებათა რიცხვი, რომლის დროსაც PM10-ის საშუალო საათობრივი კონცენტრაცია აღემატებოდა საშუალო დღე-ღამურ კონცენტრაციას.

2023 წლის მაისისა და ივლისის თვეებში მობილური პორტატული აპარატით „ Aeroqual Series 500“ განხორციელდა PM2.5 და PM10 -ის კონცენტრაციათა ექსპერიმენტული გაზომვები ქ. ქუთაისის ტერიტორიაზე და მის შემოგარენში. გაზომვები მიმდინარეობდა ზაფხულის და ზაფხულის უქარო და თბილი ამინდის პირობებში ქვეფენილი ზედაპირიან 1.5 მ სიმაღლეზე. ატმოსფეროში მიკროაეროზოლების შემცველობა ფასდებოდა კონცენტრაციათა 10 წუთიანი გასაშუალებით.

ნახ. 1-ზე ნაჩვენებია ქ. ქუთაისისა და მის შემოგარენში ატმოსფერულ ჰაერში PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციების მნიშვნელობათა სვეტური დიაგრამები. ნახ. 1-დან ჩანს, რომ PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციათა მნიშვნელობები დაკვირვების პუნქტებში არ არის პროპორციულ დამოკიდებულებაში. გაზაფხულზე და ზაფხულში PM10- ის კონცენტრაციები იცვლება 8,4-132,5 მკგ/მ³, PM2.5- ის კი - 4,6-25,1 მკგ/მ³ ინტერვალის ფარგლებში.



ნახ. 1. PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციათა მნიშვნელობები ქ. ქუთაისისა და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე (ლურჯი - PM10, ვარდისფერი - PM2.5)

PM10-ის ექსტრემალურად მაღალი კონცენტრაცია (>2,6ზდკ; ზდკ=50 მკგ/მ³) გაზომილია ავტომშენებლის ქუჩის მიმდებარე ტერიტორიაზე. მაღალი კონცენტრაციები (>ზდკ) დაკვირვებულია ქალაქის ცენტრში (მწვანე ბაზარი, რუსთაველის ხიდი), თაბუკაშვილის ქუჩის შუა ნაწილში, ქუთაისის გარსშემოვლის გზასა და თაბუკაშვილის ქუჩის გადაკვეთასთან. მაღალი კონცენტრაციების არსებობა ძირითადად დაკავშირებულია ქუჩის სარემონტო სამუშაოებთან, საწარმოო საქმიანობასთან, ინტენსიურ სატრანსპორტო მოძრაობასთან და სხვა.

PM2.5 ტერიტორიული განაწილება განსხვავდება PM10 განაწილებისაგან: კონცენტრაციების მაღალი მნიშვნელობები (20-25 მკგ/მ³) მიღებულია გამარჯვების მოედანზე, ქუთაისი - წყალტუბოს გზის დასაწყისსა და ავტომშენებლის ქუჩაზე. ქალაქის ცენტრალურ ნაწილში PM2.5 ის კონცენტრაციები 5-10მკგ/მ³ ის ფარგლებშია.

PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციების გაზომვები ჩატარდა ქ. ქუთაისის მიმდებარედ არსებულ დასახლებულ პუნქტებში. მათი კონცენტრაციების სიდიდეები ტოლი იყო: სოფ. ქვიტირი - 6 მკგ/მ³, 12 მკგ/მ³; სოფ. ფარცხანაყანები - 4,6 მკგ/მ³, 8,4 მკგ/მ³; სოფ. გეგუთი - 6,2 მკგ/მ³, 13,9 მკგ/მ³, ონის რაიონი - 8 მკგ/მ³, 16 მკგ/მ³, მარტვილის რაიონი - 19 მკგ/მ³, 23 მკგ/მ³ (ნისლიანი ამინდი).

დასკვნა. გაანალიზირებულია ქ. ქუთაისის ატმოსფეროში PM2,5 და PM10-ის კონცენტრაციათა სივრცული განაწილება, მიღებული 2023 წლის მაისისა და ივლისის თვეებში ქ. ქუთაისში განხორციელებულილი ექსპერიმენტული გაზომვების შედეგად. დადგენილია მიკროაეროზოლების მაქსიმალური და მინიმალური კონცენტრაციების მნიშვნელობები, კონცენტრაციების ცვლილების დიაპაზონები და ატმოსფერული ჰაერის შედარებით ძლიერი და სუსტი დაბინძურების არეები.

მადლიერების გამოხატვა. სამეცნიერო კვლევა განხორციელდა „შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის“ ფინანსური მხარდაჭერით [FR-22-4765].

ლიტერატურა

- [1] Samet J.M., Zeger S.L., Dominic F., Curriero F., et al. The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study. Part II: Morbidity and Mortality from Air Pollution in the United States // Research Report, 94, Health Effects Institute: Cambridge, MA, USA, 2000.
- [2] Pope C.A., Burnett R.T., Thun M.J., Calle E.E., Krewski D., et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. // J. Am. Med. Assoc, 287, 2002, pp. 1132–1141.
- [3] Katsouyanni K., Touloumi G., Spix C., Schwartz J., et al. Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: Results from time series data from the APHEA project. // BMJ, 314, 1997, pp.1658–1663.
- [4] World Health Organization. Regional Office for Europe. // Review of evidence on health aspects of air – REVIHAAP Project, First result. <https://media.xpair.com › pdf › REVIHAAP PDF>
- [5] Mortality and burden of disease from ambient air pollution. // WHO, https://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/burden/en/.
- [6] Apte J.S., Marshall J.D., Cohen A.J., Brauer M. Addressing Global Mortality from Ambient PM2.5. // Environ. Sci. Technol, 49, 13, 2015, pp. 8057–8066. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01236>.
- [7] Lefler J.S., Higbee J.D., Burnett R.T., Ezzati M., Coleman N.C., Mann D.D., Marshall J.D., Bechle M., Wang Y., Robinson A.L., Pope C.A. Air pollution and mortality in a large, representative U.S. cohort: multiple pollutant analyses, and spatial and temporal decompositions. // Environmental Health, volume 18, Article number: 101, 2019.
- [8] Dockery D.W., C. Pope C.A., Xu X., Spengler J.D., Ware J.H., Fay M.E., Ferris B.G., Speizer F.E. An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. // The New England Journals of Medicine. Volume 329, Number 24, December 9, 1993, pp. 1753-1759.
- [9] United States Environmental Agency. Integrated Science Assessment for Particulate Matter. // EPA/600/R-19/188 December 2019 www.epa.gov/isa
- [10] World's most polluted cities (historical data 2017-2022). // <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities>
- [11] World's Most Polluted Cities in 2022 - PM2.5 Ranking. IQAir. // <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities> IQAir
- [12] ჰაერის ხარისხი. // https://air.gov.ge/reports_page
- [13] Kirkitadze D. D. Statistical Characteristics of Monthly Mean and Annual Concentrations of Particulate Matter PM2.5 and PM10 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.
- [14] Surmava A., Gigauri N., Kukhalashvili V., Intskirveli L., Mdivani S. Numerical Modeling of the Anthropogenic Dust Transfer by Means of Quasistatic and Non-Quasistatic Models. 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. 134-137.
- [15] Surmava A., Intskirveli L., Kukhalashvili V., Gigauri N. Numerical Investigation of Meso- and Microscale Diffusion of Tbilisi Dust. // Annals of Agrarian Science, 18, No. 3, 2020, pp. 295-302.
- [16] Kukhalashvili V.G., Gigauri N.G., Surmava A.A., Demetrashvili D.I, Intskirveli L.N. Numerical Modelling of Dust Propagation in the Atmosphere of Tbilisi City: The Case of Background Eastern Fresh Breeze. // Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 23(1), 2020, pp. 51-56.
- [17] Kukhalashvili V.G., Kordzakhia G.I., Gigauri N.G., Surmava A.A., Intskirveli L.N. Numerical Modelling of Dust Propagation in the Atmosphere of Tbilisi City: The Case of Background Eastern Gentle Breeze. // Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 23(1), 2020, pp. 46-50.
- [18] Gigauri N., Surmava A., Intskirveli L., Demetrashvili D., Gverdsiteli L., Pipia M. Numerical Modeling of PM2.5 Propagation in Tbilisi Atmosphere in Winter. I. A Case of Background South Light Wind. // 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. 74 - 78.

FIELD OF CONCENTRATION OF PM_{2.5} AND PM₁₀ IN KUTAISI ATMOSPHERE OBTAINED BY EXPERIMENTAL MEASUREMENTS

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

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

*** Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
aasurmava@yahoo.com*

Abstract. It was studied by experimental natural measurements PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations in Kutaisi atmosphere and its surrounding area. Measurements were made with an ‘Aeroqual Series 500’ portable measuring device. Based on the received data, a picture of the surface distribution of microaerosols is built, the zones of relatively high and low concentrations are determined. The values of the maximum and minimum concentrations of microaerosols, the ranges of concentration changes, and the areas of relatively strong and weak pollution of the ambient air are established. The obtained results will be used in for processing the computer model of PM particle pollution of the atmosphere of Kutaisi.

Key words: c.Kutaisi, Atmospha, PM_{2.5} and PM₁₀ concentration.

ქალაქების თბილისისა და რუსთავის ატმოსფეროს PM ნაწილაკებით დაბინძურების გამოკვლევა

ა. სურმავა ა., გიგაური ნ., ინწკირველი ლ.

**ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, სტუ, თბილისი, საქართველო
* მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
aasurmava@yahoo.com*

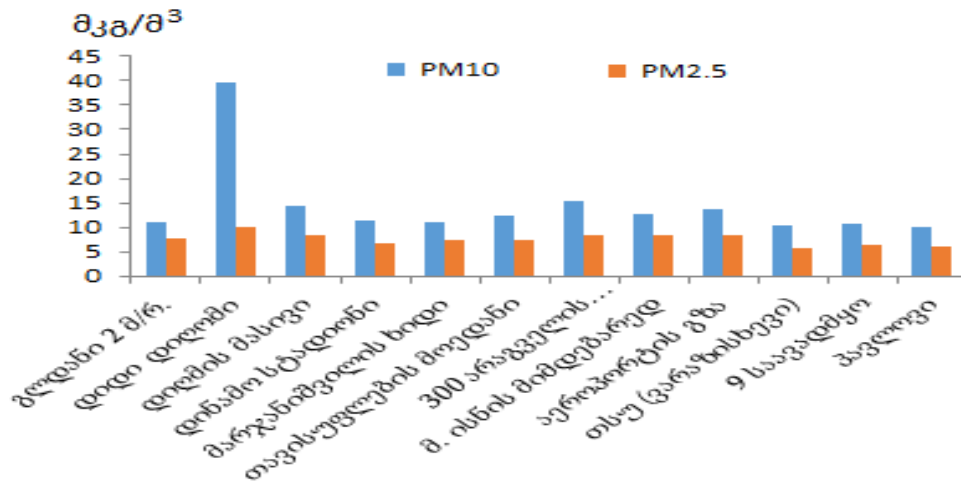
ანოტაცია. კავკასიაში ატმოსფერული პროცესების განვითარების 3D რიცხვითი მოდელისა და პასიური მონარეგების გადატანა-დიფუზიის განტოლების ერთობლივი ინტეგრირებით შესწავლილია ქალაქების თბილისისა და რუსთავის ატმოსფეროს მიკრონაწილაკებით დაბინძურება. მოდელირებისათვის საწყის და სასაზღვრო პირობებად გამოყენებულია ექსპედიციური გაზომვებისა და ნატურული დაკვირვების მონაცემები. დადგენილია მეტეოროლოგიური პირობებისა და რელიეფის გავლენა ქალაქების თბილისისა და რუსთავის ატმოსფეროში მიკრონაწილაკების კონცენტრაციათა ველის ჩამოყალიბებაზე.

საკვანძო სიტყვები: ატმოსფერო, დაბინძურება, მიკრონაწილაკები, რიცხვითი მოდელირება

შესავალი. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება მთელი მსოფლიოს და მათ შორის, საქართველოს უმთავრესი გარემოსდაცვითი გამოწვევაა, რადგან ამ გარემოში ცხოვრობს ადამიანი და განუწყვეტლივ განიცდის ატმოსფერული ჰაერის ზემოქმედებას. ატმოსფეროს დაბინძურებლებიდან განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს მიკროაეროზოლები PM_{2,5} და PM₁₀, რომლებიც ატმოსფეროში ხვდებიან ბუნებრივი და ანთროპოგენული პროცესების შედეგად. ისინი შეიცავენ მიკროსკოპულ მყარ ნივთიერებებს ან თხევად წვეთებს, რომელთა მცირე ზომების გამო შეიძლება მოხდეს მათი ინჰალაცია და ადამიანის ჯანმრთელობას შეუქმნან სერიოზული პრობლემები. მიკროაეროზოლები აერთიანებენ მყარ და თხევად უმცირეს ნაწილაკებს, რომელთა ზომები 1-დან 10 მკმ-ს შორის მერყეობს. ისინი შედგებიან: ბიოლოგიური დამაბინძურებლების, ჭვარტლის, ასფალტის, საბურავების, მინერალური მარილების, მჟავების და სხვა მყარი თუ თხევადი უმცირესი ნაწილაკებისაგან. ყველაზე დიდ საფრთხეს უქმნის ჯანმრთელობას PM ნაწილაკები, რომლებიც სიმცირის გამო აღწევენ რა ადამიანის ორგანიზმში იწვევენ მათი ჯანმრთელობის გაუარესებას, ხშირად ლეტალური შედეგით [1]. ამასთან, დიდი ალბათობით მტერის მიკრონაწილაკებზე ადსორბირებული ვირუსები, მათ შორის Covid-19, მარტივად ვრცელდება ატმოსფეროში. განსაკუთრებით მაღალია მათი კონცენტრაციები დიდი ქალაქებისა და ინდუსტრიული ცენტრების ატმოსფეროში, როგორებიცაა ქალაქები თბილისი და რუსთავი. თბილისში დაბინძურების ძირითადი წყაროა ავტოტრანსპორტი, ხოლო ქალაქ რუსთავში ავტოტრანსპორტთან ერთად ატმოსფეროს დაბინძურებაში დიდი წვლილი მიუძღვის ინდუსტრიულ ცენტრებსაც, რომელთა შორის გამოვყოფდით „ჰაიდელბერგცემენტს“. ოფიციალური მონაცემებით, ქალაქებში თბილისი და რუსთავი ჰაერის დაბინძურების დონე მაღალია და PM-ნაწილაკების კონცენტრაციები ხშირად აღემატება შესაბამის ზღვრულად დასაშვებ ნორმებს (ზდკ) [2,3].

მიღებული შედეგები. ქალაქების თბილისისა და რუსთავის ატმოსფეროში გაბნეული მიკროაეროზოლების კონცენტრაციების დონის დასადგენად გამოვიყენეთ როგორც დაკვირვების მასალის ოფიციალური [4,5], ასევე ჩვენ მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტული გაზომვების მონაცემები. გაზომვები ჩატარდა თბილისის ძირითად ავტომაგისტრალზე და ქალაქის შემოგარენში, მოიცვა დაახლოებით 400 პუნქტი, ტრასების ჯამურმა სიგრძემ შეადგინა 650 კმ. მიღებულია, რომ ტრანსპორტის მოძრაობის მაქსიმალური ინტენსივობისას ატმოსფეროს მიკროაეროზოლებით დაბინძურების დონე იცვლება ფართო დიაპაზონში. დაფიქსირდა როგორც მაქსიმალური (აღმაშენებლის ხეივანი, გმირთა მოედანი, გლდანის

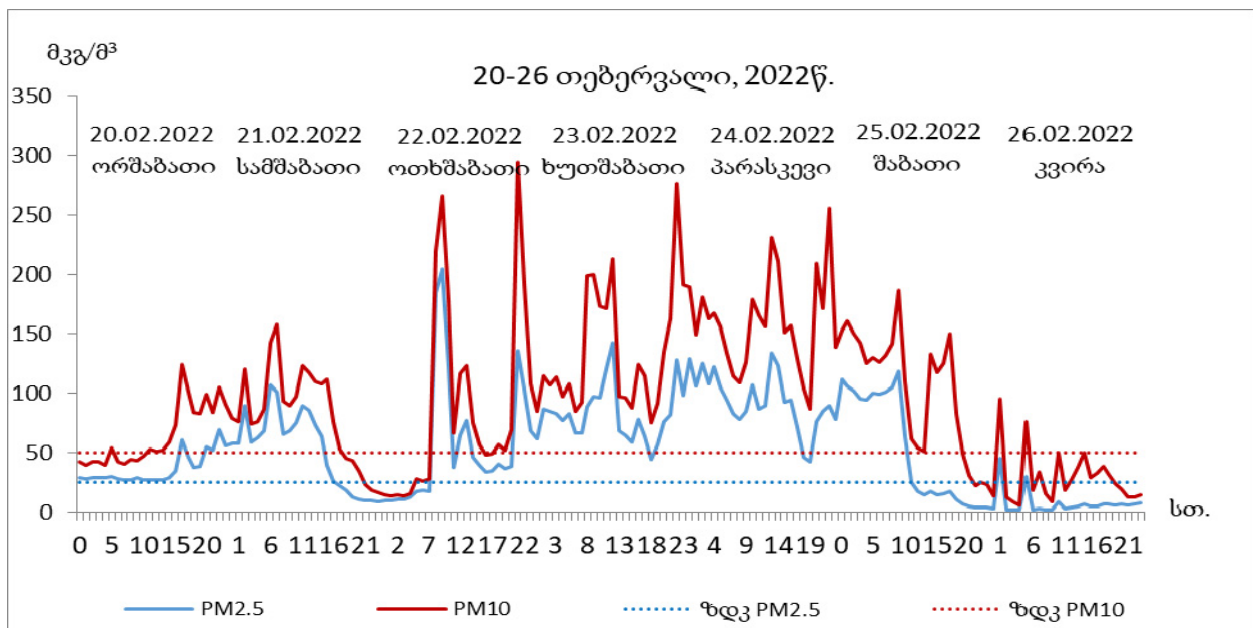
ხიდები, აეროპორტის ტრასა, ასევე მინიმალური (თბილისის ზღვა, წყნეთი, სოფ.დიდომი, ლისის ტბის მიმდებარე ტერიტორია) დაბინძურების უბნები (ნახ.1).



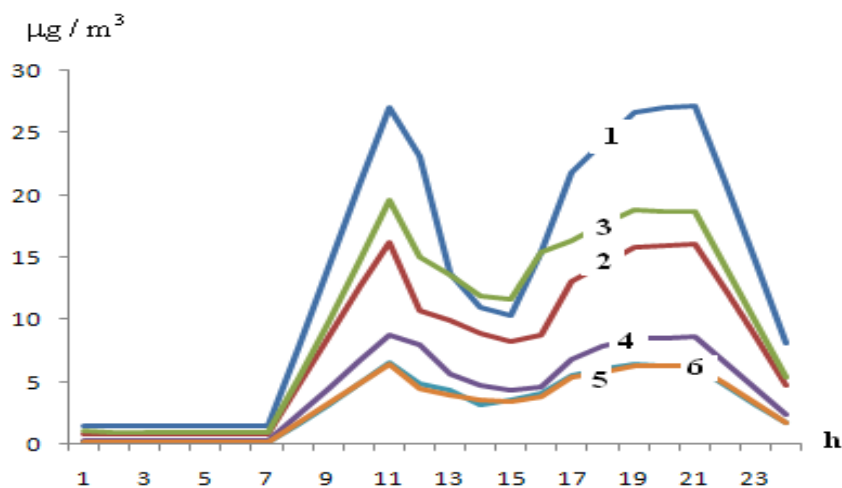
ნახ.1. PM2.5 და PM10 -ის კონცენტრაციების მნიშვნელობები ქ. თბილისის. დამით ჩატარებული გაზომვები. 15.09.2021.

ქ.რუსთავის ატმოსფეროში მიკროაეროზოლების კონცენტრაცია იცვლება ფართო დიპაზონში და ხშირად აჭარბებს შესაბამისი ზღვ-ს მნიშვნელობას. გაანალიზებულია PM ნაწილაკთა კონცენტრაციების საათობრივი ცვლილება ქ.რუსთავის ატმოსფეროში (ნახ.2). ნახაზზე მაგალითის სახით მოყვანილია 2022 წლის 20-26 თებერვლის მონაცემთა მსვლელობა, რომელიც გვიჩვენებს, რომ ქალაქის ატმოსფეროში კონცენტრაციათა მაქსიმუმები ფიქსირდება დღის სხვადასხვა ინტერვალში, განსხვავებით ქ.თბილისისგან, სადაც მაქსიმუმები მიიღწეოდა ყოველთვის დღის მეორე ნახევარში 20 საათის შემდგომ, რაც დაკავშირებულია ავტოტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობასა და პიკის საათის პერიოდთან. ქ.რუსთავის შემთხვევაში კი ავტოტრანსპორტს ემატება სამრეწველო ობიექტების მტვერიც და შესაბამისად კონცენტრაციათა მატება დამოკიდებულია როგორც ავტოტრანსპორტის ინტენსივობაზე, აგრეთვე ქარხნების მუშაობის ინტენსივობაზეც.

ქალაქების ატმოსფეროს მიკრონაწილაკებით დაბინძურების ცვლილება დროსა და სივრცეში გამოთვლილ იქნა მათემატიკური მოდელით, რომელიც ეყრდნობა მეზომასშტაბის ატმოსფერული პროცესების და გადატანა-დიფუზიის 3D განტოლებათა სისტემის ერთობლივ რიცხვით ინტეგრირებას. ჩატარებულია მიკრონაწილაკების ლოკალური გავრცელების რიცხვითი მოდელირება ფონური ჩრდილოეთის, სამხრეთის და დასავლეთის სუსტი ქარების დროს. დადგენილია, რომ ქ.თბილისის ატმოსფეროში მიკროაეროზოლების კონცენტრაციების დროსა და სივრცეში ცვლილება რთულია. ის დამოკიდებულია, როგორც ატმოსფეროს დამაბინძურებელი წყაროების მდებარეობაზე და ინგრედიენტის სივრცეში გაფრქვევის ინტენსივობაზე, ასევე რელიეფის გავლენით ფორმირებულ ლოკალურ მეტეოროლოგიურ პროცესებზე. მაგალითის სახით ნახ.3-ზე მოცემულია კონცენტრაციის დროში ცვლილება ქალაქ თბილისის 4 მჭიდროდ ურბანიზებულ და 2 გარეუბანში მდებარე წერტილებში, საიდანაც ჩანს, რომ კონცენტრაციის დროში ცვლილებას გააჩნია 2 მაქსიმუმი. ერთი მიიღწევა 11 და მეორე 19 სთ-ის მიდამოებში. პირველი მაქსიმუმის შესაბამისი კონცენტრაციის ზრდის პროცესი მიმდინარეობს 4 სთ-ის განმავლობაში 7-დან 11-სთ-მდე, ხოლო მეორე მაქსიმუმის 6 სთ-ის განმავლობაში – 15-დან 22 სთ-მდე.



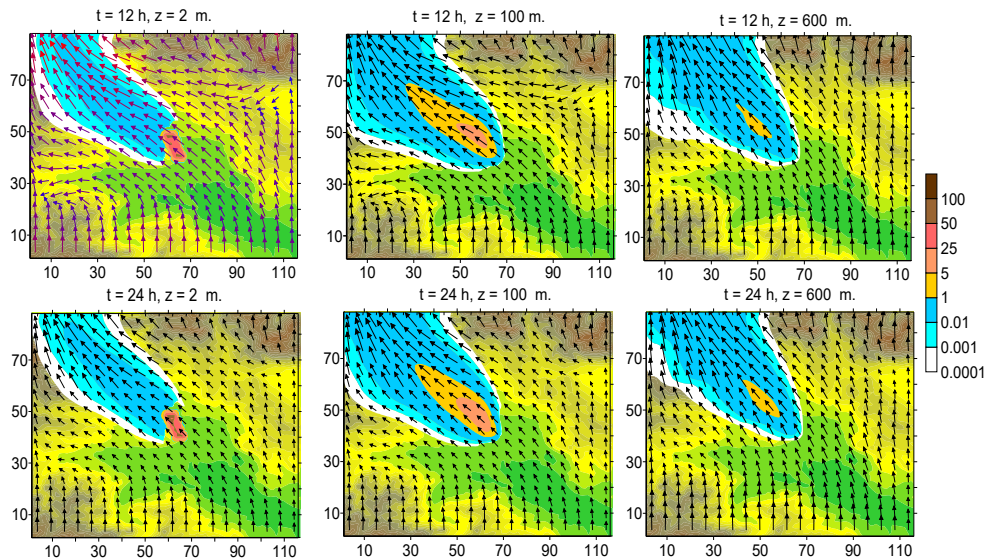
ნახ.2. PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციების საათობრივი ცვლილება ქრუსთავში 2022 წლის თებერვალში.



ნახ.3. ქ.თბილისის ატმოსფეროში PM2.5-ის კონცენტრაციის დროში ცვლილება მოდელირების არის 6 წერტილში: 1-ფონიჭალა, 2- ვაჟაფშაველას გამზ, 3 – ახმეტელის თეატრი, 4 – თავისუფლების მოედანი, 5- წყნეთი, 6 – დიღომი.

ნახ.4-ზე ნაჩვენებია ქარის სიჩქარისა და PM2.5-ის კონცენტრაციების ველები ატმოსფეროს მიწისპირა და სასაზღვრო ფენებში მიღებული ფონური სამხრეთის სუსტი ქარის დროს. ფონური ქარის სიჩქარე იცვლება 1 მ/წმ-დან (მიწის ზედაპირიდან 100 მ სიმაღლეზე 20 მ/წმ-მდე (ტროპოპაუზაზე). ნახაზიდან ჩანს, რომ რელიეფის ზემოქმედება და თერმიული დღეღამური რეჟიმის ცვლილება იწვევს ლოკალური ქარის ფორმირებას, რომელიც ნაწილობრივ განსხვავდება ფონურისაგან. კერძოდ, ქვემო ქართლის ვაკისა, მდ. მტკვრის ხეობის გასწვრივ და რაიონის ჩრდილო დასავლეთ ნაწილში ფორმირებულია სამხრეთ – დასავლეთის ქარი. რეგიონის ჩრდილო და სამხრეთ ნაწილებში ქარი სამხრეთისაა. ქარის მიმართულება მცირედ იცვლება სიმაღლის მიხედვით და დროში.

ნაკლებად იცვლება ასევე მიკრონაწილაკების სივრცული განაწილებაც. ფორმირებული ლოკალური ქარის უპირატესი გავლენის შედეგად მიკრონაწილაკები გადაიტანებიან ჩრდილო-დასავლეთის მიმართულებით და ქმნიან წაგრძელებული ელიფსის მაგვარი ფორმის დაბინძურების ღრუხელს. ღრუხელის სიგანე აღწევს 50 კმ-ს, ხოლო სიგრძე კი მნიშვნელოვნად აღემატება მას.



ნახ.4. ქარის სიჩქარისა და PM2.5-ის კონცენტრაციის განაწილება $z = 2, 100$ და 600 მ სიმაღლეზე ფონური სამხრეთის სუსტი ქარის დროს, როცა $t = 12$ და 24 სთ.

დასკვნა. შესწავლილია ატმოსფეროს ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი დამაბინძურებლის - მიკრონაწილაკების (PM2.5 და PM10) გავრცელება საქართველოს ადმინისტრაციული და ინდუსტრიული ცენტრის, ქ. თბილისის, რუსთავის და მათი შემოგარენის ატმოსფეროში. პრობლემა შესწავლილია ექსპერიმენტალური გაზომვების მონაცემებსა და კომპიუტერულ მოდელირებაზე დაყრდნობით.

ოპერატიული დაკვირვების მონაცემებზე და ექსპერიმენტული გაზომვების შედეგებზე დაყრდნობით დადგენილია, რომ თბილისის და რუსთავის ატმოსფეროში PM2.5 ნაწილაკების კონცენტრაციები, როგორც წესი, ნაკლებია PM10-ის კონცენტრაციებზე, მაგრამ მათი ცვლილების მრუდის ხასიათი ერთნაირია. მათი მაქსიმალური მნიშვნელობები თითქმის ყოველთვის აღემატება შესაბამის ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს (ზდკ) ზამთრის პერიოდში, ხოლო ზაფხულის პერიოდში ხშირ შემთხვევაში ნაკლებია შესაბამის ზდკ-ზე.

მიღებულია, რომ ქ.თბილისის ატმოსფეროში დღის განმავლობაში PM ნაწილაკების კონცენტრაციების საათობრივი ცვლილების ტრენდი ხასიათდება მატების ტენდენციით და თავის მაქსიმუმს აღწევს საღამოს 20 საათის შემდეგ, რასაც ძირითადად განაპირობებს ტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობა.

ნაჩვენებია, რომ ქ.რუსთავის ატმოსფეროში მიკრონაწილაკების კონცენტრაციათა მაქსიმუმები ფიქსირდება დღის სხვადასხვა ინტერვალში, რაც დაკავშირებულია იმ ფაქტთან, რომ ავტოტრანსპორტს ემატება სამრეწველო ობიექტების მტვერიც და შესაბამისად კონცენტრაციათა მატება დამოკიდებულია როგორც ავტოტრანსპორტის, აგრეთვე ქარხნების მუშაობის ინტენსივობაზეც.

რიცხვითი მოდელირებით დადგენილია, რომ ქალაქების თბილისისა და რუსთავის ატმოსფეროში მიკროაეროზოლების კონცენტრაციების დროსა და სივრცეში ცვლილება რთულია. ის დამოკიდებულია, როგორც ატმოსფეროს დამაბინძურებელი წყაროების მდებარეობაზე და ინგრედიენტის სივრცეში გაფრქვევის ინტენსივობაზე, ასევე რელიეფის გავლენით ფორმირებულ ლოკალურ მეტეოროლოგიურ პროცესებზე.

მადლიერება: სამეცნიერო კვლევა დაფინანსებული და შესრულებულია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის YS-21-132 გრანტის ფარგლებში.

ლიტერატურა

- [1] World Health Organization, WHO's Agenda on Air Pollution and Health. // www.who.int/airpollution/en/
- [2] Surmava A., Intskirveli L., Kukhalashvili V., Gigauri N. Numerical Investigation of Mezo- and Microscale Diffusion of Tbilisi Dust. // Annals of Agrarian Science, ISSN 1512-1887, v.1.8, №3, 2020, pp. 295-302.
- [3] ქ.რუსთავის ატმოსფერული ჰაერის გაუმჯობესების სამოქმედო გეგმა 2020-2022.
- [4] <https://mepa.gov.ge/Ge/PublicInformation/27987>
- [5] https://air.gov.ge/reports_page

INVESTIGATION OF PM PARTICLE POLLUTION OF THE ATMOSPHERE OF THE CITIES OF TBILISI AND RUSTAVI

***Surmava A., *Gigauri N., *Intskirveli L.

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

*** Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
aasurmava@yahoo.com*

***Abstract.** The distribution of micro-particles (PM_{2.5} and PM₁₀), one of the most significant atmospheric pollutants, has been studied in the Administrative and Industrial Center of Georgia, St. In the atmosphere of Tbilisi, Rustavi and their surroundings. The problem is studied based on the data of experimental measurements and computer modeling.*

Based on operational observation data and the results of experimental measurements, it is established that the concentrations of PM_{2.5} particles in the atmosphere of Tbilisi and Rustavi are usually lower than the concentrations of PM₁₀, but the nature of their change curve is the same. Their maximum values are almost always higher than the respective maximum allowable concentrations (MPC) in the winter period, while in the summer period they are often lower than the respective MPC.

It is accepted that the hourly change trend of PM particle concentrations in the atmosphere of Tbilisi during the day is characterized by an increasing tendency and reaches its maximum after 20:00 in the evening, which is mainly determined by the intensity of traffic.

It is shown that the maximum concentrations of microparticles in the atmosphere of Rustavi are fixed at different intervals of the day, which is connected with the fact that the dust of industrial objects is added to the road transport, and therefore the concentration increase depends on the intensity of the work of both the road transport and the factories.

It is established that the time and space changes of microaerosol concentrations in the atmosphere of the cities of Tbilisi and Rustavi are difficult. It depends both on the presence of atmospheric polluting sources and the intensity of the ingredient's dispersion in space, as well as on local meteorological processes formed under the influence of the terrain.

Key words: atmosphere, pollution, microparticles, numerical modeling

ON INDOOR ENVIRONMENT CONTAMINATION BY CESIUM-RICH RADIOACTIVE MICROPARTICLES RELEASED FROM THE FUKUSHIMA DAIICHI NUCLEAR POWER PLANT: A REVIEW

Chelidze L.

Elevter Andronikashvili Institute of Physics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
lia.chelidze@gmail.com

Abstract. Advanced nuclear technologies in conditions of geological disaster can lead to unpredictable ecological hazards. Through unknown processes Cesium-rich micro-particles CsMPs formation took place during melting inside the reactor. Not much has been documented on the occurrence of CsMPs inside buildings. After Fukushima disaster new ways of radiation contamination of the natural environment by CsMPs were identified.

Key words: Cesium-rich micro-particles, radioactive materials, indoor CsMPs`

It was difficult to predict three disasters happened simultaneously in Japan. As a result of the processes, developed at the Fukushima Daiichi nuclear power plant, the catastrophe destroyed the complex and interdependent security systems. Clearly, the study of contamination process will help to increase security of power generation facilities in Japan and around the world. The most serious environmental consequences of the accident, including surface pollution by radioactive cesium, have not yet been explored. The big challenge of modern environmental technologies is to control cesium nanoparticles in nature. Conclusions about reactions, developed in the Fukushima reactors, have been based on indirect studies. It is believed that after the shutdown of the cooling system, the temperature in the reactor rise to 2,200 K and the radioactive Cs was released from the irradiated fuel. All CsMPs (2.0-3.4 μm in size) contain SiO₂ glass and Zn-Fe-oxide nanoparticles associated with a wide range of Cs concentrations. Uranium U traces are also associated with Zn-Fe-oxides. Cesium-rich micro-particles of CsMPs generated at the Fukushima Nuclear Power Plant were first discovered in the atmosphere 170 km southwest of the plant. These particles are solid body objects. Their formation took place during melting inside the reactor and they carry important information about the physical and chemical properties of the radioactive materials inside the reactor. CsMPs formation process studies use a high resolution electron microscope combined with conventional radio-analytical techniques and study of chemical and structural properties on an atomic scale [1,2]. Interestingly, the process of formation of CsMPs at Fukushima is markedly different from the presented above process of microparticle formation. It takes place as a result of interaction of the melted active zone of the reactor in experiments [3,4,5] with concrete particles (a process known as molten core concrete interaction - MCCI).

Due to the extremely high radioactivity per unit mass, $\sim 10^{11}$ Bq/g, CsMPs particles can be an important source of radiation in the Fukushima environment. In addition, CsMPs are important carriers, through which volatile radionuclides, such as uranium (U), reach the environment [2]. Usually instruments used for radiological measurements shall be selected based upon the instrument's detection capability for each known or potential radionuclide. In the case of man-made CsMPs, the produced nano-particles are radiation sources, but it is impossible to monitor their concentration by usual radiation detectors. The CsMPs detection is not the only technical problem: besides expensive specific equipment and highly technical qualification of the staff, one need to know the particles complex migration path in the media. Inhalation of CsMPs is associated with serious health risks especially indoors. It is very important to determine during analysis, if artificial nanoparticles and specifically

CsMPs retain their properties (size, original structure, reaction properties) in water, air, soil or sediment. Accidentally produced man-made CsMPs pose a significant environmental challenge in terms of both discovery and modeling of further migration pathway. CsMPs are now known to have been transported long distances from Fukushima. In March 2011, ~520 PBq of radionuclides were released into environment during the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident. In 2017 Caesium-rich micro-particles emission first time was discovered via the atomic-resolution electron microscopy. CsMPs analysis served as a window into the meltdown event process at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. In 2023 the article ‘Occurrence of radioactive cesium-rich micro-particles (CsMPs) in a school building located 2.8 km south-west of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant’ was published [6]. So the chain of discoveries during last years point to the need of study the new radioactive nano-particles formations. Through analysis of 20 soil samples with the QCP method, the first regional-scale quantitative map of CsMP abundance and RF values around the FDNPP was presented in the article ‘Abundance and distribution of radioactive cesium-rich microparticles released from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant into the environment’ (Chemosphere, Volume 241, February 2020, 125019). Researchers from Kyushu University, the University of Helsinki, IMT Atlantique, the University of Nantes and Stanford University published a study in the journal Chemosphere that revealed the presence of significant amounts of highly radioactive and poorly soluble cesium-rich microparticles (CSMPS) in an abandoned school building near the Fukushima Daiichi nuclear power plant. These microparticles, which entered the building during the March 2011 accident, can pose a health hazard if inhaled. The results highlight the importance of considering indoor CsMPs .

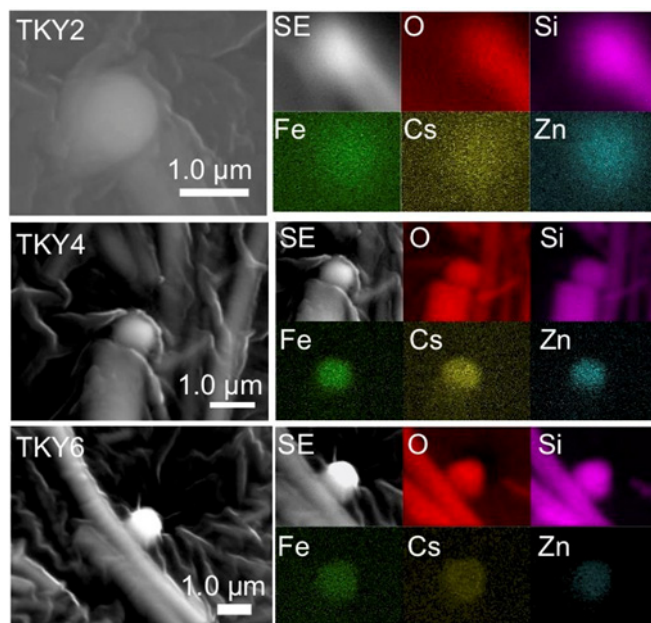


Fig.1. Secondary electron images of CsMPs discovered in atmospheric particles trapped on a Tokyo air filter from March 15, 2011, with major constituent elements displayed (Utsunomiya et al. 2019).

Photo from internet source <https://safecast.org/2019/08/fukushima-cesium-enriched-microparticle-csmp-update/>.

Fig. 1 presents secondary electron images of CsMPs discovered in atmospheric particles trapped on a Tokyo air filter from March 15, 2011, with major constituent elements displayed. These tiny particles with a radius of only a few micrometers are mainly composed of silica glass, Fe and Zn. It is important to note that the content of radioactive Cs in CsMP exceeds that of any other form of Cs-labeled radioactive fallout released from damaged reactor units 1-3. Studies by (Utsunomiya et al. 2019) show that these particles were temporarily formed during FDNPP meltdown events when molten fuel escaped from the primary containment and interacted with the underlying concrete base. While previous research has focused primarily on CsMP found outdoors, the most recent scientific investigations demonstrate that CSMPS can significantly penetrate buildings, creating a potential risk

indoors. This finding highlights the need for buildings in the exclusion zone to be thoroughly cleaned before they can be safely reintegrated for public use.

Levels of Cs radioactivity in dust samples collected from school floors ranged from 340 to 4040 Bq/m² (corresponding to 125-1490 Bq/m² in 2023), with 4.5 to 38.9% of the radioactivity coming from CsMPs. The highest concentration of CsMPs was found at the entrance to the school, with up to 2,481 particles per m², indicating that these radioactive particles penetrate deeply into the building. In contrast, lower but still significant amounts of CSMPs were found on the second floor, up to 1273 particles per m². Interestingly, the amount of CsMPs and the fraction of Cs radioactivity associated with CsMPs in samples collected outdoors were significantly lower, indicating a discrepancy between indoor and outdoor pollution levels. Researchers believed that the CSMPs present in the premises were formed by dry deposition as the school had remained untouched since the accident. On the other hand, samples taken outdoors recorded both dry and wet deposition of Cs precipitation. It is likely that outdoor CSMPs were partially washed away or blown away by rain and wind, leaving predominantly soluble Cs species associated with dust and soil particles [8].

The investigation of CsMPs infiltration into environment and its further possibly global migration is one of main ecological and eco-toxicological challenges of modern science.

References

- [1] Steinhäuser, G. Brandl, A. & Johnson, T. E. // *Sci. Total Environ*, 470, 2014, 800–817
- [2] Genki F., Junpei I., Asumi O., et al. Caesium-rich micro-particles: A window into the meltdown events at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. // *Scientific Reports*, 2017, www.nature.com/scientificreports
- [3] Sehgal B. R. Ed. Nuclear safety in light water reactors. Severe accident phenomenology. // Academic Press, Amsterdam, The Netherlands. 2012, 714 pp, and references therein
- [4] Beattie I. R., Nichols A. L. J. // *Aerosol Sci.* 23, 1992, pp. 847–852.
- [5] Kissane M. P. // *Nucl. Eng. Design*, 238, 2008, pp. 2792–2800.
- [6] Kazuki F., Tatsuki K., Kenta M., et al. Occurrence of radioactive cesium-rich micro-particles (CsMPs) in a school building located 2.8 km south-west of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. // *Chemosphere*, Vol. 328, July 2023, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138566>
- [7] Ryohei I., Kazuya M., Mizuki S., et al. Abundance and distribution of radioactive cesium-rich microparticles released from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant into the environment. // *Chemosphere*, Vol. 241, February 2020, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125019>
- [8] <https://nia.eco/2023/05/30/64045/>

INDOOR RADON CONCENTRATIONS IN SELECTED BUILDINGS OF GEORGIA

*Kapanadze N., *Melikadze G., *Tchankvetadze A., *Todadze M., *Jimsheladze T., *Gogichaishvili Sh.,
Chelidze L., *Chikviladze E., *Vaupotič J.

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

**Elevter Andronikashvili Institute of Physics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia

***Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia

ninokapanadze@gmail.com

Abstract. *Within the project "Radon mapping and radon risk assessment in Georgia", funded by the Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia in 2019–2022 (SRNSFG FN-19-22022), systematic radon (^{222}Rn , Rn) surveys in indoor air, soil gas, and waters were carried out in Georgia. The indoor radon study included 702 locations in 11 administrative regions of Georgia. Altogether, 1338 rooms in 107 schools, 540 kindergartens, 6 city halls, and 57 homes were examined for radon all year round by exposing solid-state nuclear track detectors RSFV from Radosys Ltd. Rn concentrations ranged from 2 to 1226 Bq m⁻³, with an annual arithmetic mean value of 84 Bq m⁻³ for all the regions. The annual effective doses ranged from 0.2 to 3.8 mSv with an arithmetic mean value of 1.2 mSv a⁻¹.*

Keywords: *radon, indoor air, solid state nuclear track detector, effective dose, Georgia*

Introduction

Noble gas radon (^{222}Rn , Rn) originates in the natural radioactive decay chain of uranium (^{238}U) in the earth's crust. From its origin, radon migrates to the surface by diffusion and advection, affected by a number of geophysical and hydrometeorological parameters. Rn α -decay is followed by radioactive transformations, in which its progeny (RnP: ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po) are formed. Rn and RnP are present ubiquitously in the air, and during breathing, Rn is exhaled while RnP are partly deposited on the walls of the respiratory tract. The energy released by their radioactive transformations is absorbed in the nearby tissue, damages it and eventually increases the risk of lung cancer.

The primary site of Rn exposure is indoors, where a person spends up to 80 % of the time. Geology, climate, quality of building construction and living habits mainly affect the distribution of Rn indoors. It has been estimated that a member of the general public receives from Rn and RnP about half of the annual effective dose (1.2 mSv), compared with a total of 2.4 mSv from all sources of natural radioactivity [1].

The territory of Georgia belongs to the Alpine tectonic zone. They encompass different geological formations containing significant concentrations of radioactive elements. The most significant amount of Rn is released to the soil gas from rocks of the Palaeozoic and Jurassic ages, where the content of radioactive elements varies greatly. The country is abundant with tectonic faults where radon-rich natural mineral water sources are present, situated in several highly populated parts of Georgia. Several radon studies covered only small parts of the country and were episodic. In the frame of the project "Assessment of radon-hazard potential, residential exposure, lung cancer and COPD in West Georgia", the outflow of gas associated with tectonic faults was studied and confirmed the correlation between Rn exhalation and prevalence of lung cancer [2–3]. Pagava et al. (2008) [4] reported concentrations of Rn in residential buildings (30–380 Bq m⁻³). Within the project "Complex Research of Earthquake's Prediction Possibilities, Seismicity and Climate Change Correlations" (BlackSeaHazNet), the range of indoor radon 12.9–1110 Bq m⁻³, and thoron 6.3–681 Bq m⁻³, concentrations were found [5].

In the project "Radon mapping and radon risk assessment in Georgia", part of the research was intended for the first systematic indoor radon survey within 11 administrative regions. This paper reports a summary statistic of indoor

radon concentrations and the estimated annual effective doses, separately for schools, kindergartens, and homes for each region, and the cumulative frequency of indoor radon concentrations for the whole country.

Materials and Methods

Radon concentrations were measured by long-term exposure of Radosys RSFV solid-state nuclear state detectors (track-etch detectors) based on the CR-39 detector foil (Radosys Ltd, *Budapest, Hungary*). Altogether, *1338 rooms in 107 schools, 540 kindergartens, 6 city halls, and 57 homes were examined at 702 locations in 11 administrative regions of Georgia once or twice for six months from 2020 to 2022*. The number of detectors exposed in each building was defined (i) by the number of floors (basement, first and second floor) and the room selected, (ii) by the duration of time children or inhabitants spend most of their time. All detectors were placed and collected personally by the project team members, sealed after exposure in a radon-proof foil pouch individually and sent to the manufacturer for evaluation. *The result obtained included the radon activity concentrations and their uncertainties.*

The summary statistics of indoor radon concentrations, separately for schools, kindergartens, city halls (only Tbilisi region) and homes in 11 administrative regions, include Min, Max, Median, AM, ASD, GM and GSD. The cumulative frequency is based on the indoor radon concentrations in all 1338 rooms.

The effective doses have been calculated according to the UNSCEAR 2000 [1] as follows:

$$E = C_{Rn} \times F \times t \times DCF \quad (1),$$

where E is effective dose (mSv), C_{Rn} is indoor radon concentration ($Bq\ m^{-3}$), F is equilibrium factor between RnP and Rn (0.4), t is the time of exposure (in our case 7000 h for homes, 2000 hours for schools and kindergartens) and DCF is dose conversion factor ($nSv\ h^{-1}\ (Bq\ m^{-3})^{-1}$). For C_{Rn} , the arithmetic mean (AM) values from Table 1 were taken.

Results and Discussion

Summary statistics for indoor Rn concentrations and the estimated effective doses in 11 administrative regions are shown in Table 1. The regions are sorted by the population number density, and in each one, the results are presented separately for schools, kindergartens, city halls (Tbilisi) and homes. The following ranges of indoor radon concentration are obtained: 15–1189 $Bq\ m^{-3}$ in schools, 2–1226 $Bq\ m^{-3}$ in kindergartens and 26–335 $Bq\ m^{-3}$ in homes, which is consistent with previous research [4, 5]. Figure 2 shows arithmetic means (AM) of indoor Rn concentrations in schools, kindergartens and homes for regions where the survey was performed. As seen in Table 1 and Figure 2, no concentration exceeds 300 $Bq\ m^{-3}$, the limit value of the European Commission (EC) [6], but in 55 % of cases is above 100 $Bq\ m^{-3}$, the recommended limit of the World Health Organization (WHO) [7]. The limit value of WHO [7] is exceeded in all three building categories.

The overall arithmetic mean radon concentration for all regions and all three building categories is 84 $Bq\ m^{-3}$, which is in the middle of the range summarised by Pantelić et al. (2018) [8]. However, as seen in Table 1, in several regions where only one building category was examined and where high mean Rn concentration was found, further measurements are needed, e.g., 3. Kvemo Kartli, 7. KaKheti, 9. Mtskheta-Mtianeti and 10. Racha-Lechkhumi-Svaneti.

Fig. 3 shows the cumulative frequency of indoor Rn concentration for all 1338 examined rooms. The curve roughly fits the log-normal distribution. Distinguish can be several slightly different slopes, with three the most pronounced, in the Rn concentrations ranges 10–35 $Bq\ m^{-3}$, 40–200 $Bq\ m^{-3}$ and 300–600 $Bq\ m^{-3}$, which indicates different origins of radon, certainly related to geology [9]. There are 86 values (6.4 %) below 10 $Bq\ m^{-3}$, which is surprisingly high, and the reason will be determined with further analysis, considering all factors that affect the indoor radon concentration. There are two values above 1000 $Bq\ m^{-3}$, also not shown in the graph (Figure 3).



Figure 1. Radosys RSFV radon detector with wide-range detection (Radosys Ltd)

Table 1. Summary statistics of indoor radon concentration and effective doses for schools, kindergartens, city halls (Tbilisi) and homes in 11 administrative regions of Georgia.

Region	Building category	No of points	Radon concentration Bq m ⁻³						Effective dose mSv a ⁻¹	
			Min	Max	Median	AM	ASD	GM	GSD	Adult
1 Adjara	Schools	22	15	156	58	60	33	52	1.7	0.4
	Kindergartens	32	26	180	62	72	37	65	1.6	0.5
	Homes	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 Imereti	Schools	9	23	348	67	98	98	73	2.1	0.7
	Kindergartens	60	11	429	75	97	73	80	1.8	0.7
	Homes	8	27	146	55	63	37	56	1.7	1.6
3 Kvemo Kartli	Schools	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kindergartens	57	40	512	116	151	98	128	1.7	1.1
	Homes	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 Guria	Schools	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kindergartens	82	16	178	56	64	37	54	1.8	0.5
	Homes	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 Shida Kartli	Schools	6	57	470	145	194	161	145	2.3	1.4
	Kindergartens	56	39	301	72	103	69	86	1.8	0.7
	Homes	6	36	196	90	99	61	83	1.9	2.5
6 Samegrelo	Schools	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kindergartens	24	12	451	50	87	115	57	2.3	0.6
	Homes	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7 KaKheti	Schools	22	19	1189	94	155	240	100	2.3	1.2
	Kindergartens	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Homes	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 Samtskhe- Javakheti	Schools	27	19	615	102	139	121	108	2.0	1.1
	Kindergartens	30	39	813	118	169	155	128	2.0	1.3
	Homes	24	38	327	105	112	57	100	1.6	2.9
9 Mtskheta- Mtianeti	Schools	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kindergartens	22	54	567	121	140	113	115	1.8	1.0
	Homes	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10 Racha- Lechkhumi- Svaneti	Schools	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kindergartens	51	36	1226	73	101	158	77	1.7	0.7
	Homes	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11 Tbilisi	Schools	14	50	269	100	118	61	105	1.6	0.8
	Kindergartens	172	2	99	22	30	24	22	2.2	0.2
	City halls	6	63	788	105	217	281	140	2.4	1.6
	Homes	19	26	335	80	123	96	94	2.1	3.8

No: number of measuring points; AM: arithmetic mean; ASD: arithmetic standard deviation; GM: geometric mean; GSD: geometric standard deviation; Min: minimum; Max: maximum

The annual effective doses ranged from 0.2 to 3.8 mSv with a mean value of 1.2 mSv a⁻¹ (Table 1), a very general assessment for all three building categories. By building category, the values are as follows: 1.1 mSv a⁻¹ for schools, 0.7 mSv a⁻¹ for kindergartens and 2.7 mSv a⁻¹ for homes. However, caution is required when using these results, as they are based on a small number of the data.

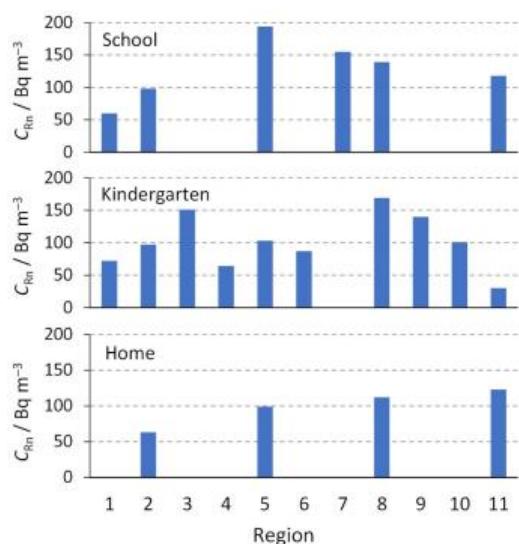


Fig. 2. Average radon concentrations in schools, kindergartens and homes in 11 regions

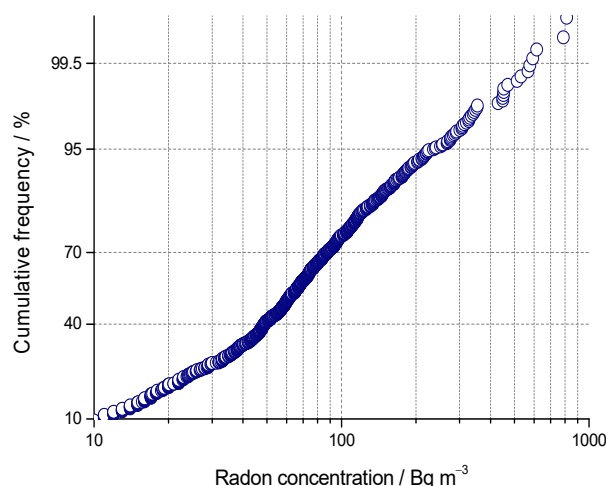


Fig. 3. Cumulative frequency of indoor radon concentrations in all places

Conclusions

The overall arithmetic mean indoor radon concentration is 84 Bq m^{-3} , considering all regions and all categories of buildings. However, higher arithmetic mean indoor radon concentration was found in several regions where further measurements would be recommended. The mean effective dose of 1.2 mSv a^{-1} was estimated, but this is a very rough approach due to the low number of data. The data obtained in this study will be further elaborated, considering all factors affecting indoor radon concentration.

Acknowledgment

As recipients of Research State Grant FN-19-22022 “Assessment of Radon Hazard Potential in Georgia”, the authors thank the Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia.

References

- [1] UNSCEAR. Sources-to-effects assessment for radon in homes and workplaces. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation // UNSCEAR 2006, Annex E. United Nations, New York, 2006.
- [2] Amiranashvili A., Chelidze T., Melikadze G., Trekov I., Todadze M. Quantification of the radon distribution in various geographical areas of West Georgia. // Journal of the Georgian Geophysical Society; Issue A. Physics of Solid Earth, vol. 12A, Tbilisi, ISSN 1512-1127, 2008, pp. 65–69
- [3] Amiranashvili A., Chelidze T., Melikadze G., Trekov I., Todadze M., Chankvetadze A., Chelidze L. Preliminary results of the analysis of radon content in the soil and water in different regions of west Georgia. // Institute of Geophysics, Tbilisi, ISSN 1512-1135, 2008, 60, pp. 213–218 (in Russian).
- [4] Pagava S., Rusetski V., Robakidze Z., Farfán E.B., Dunker R.E., Popp J.L., Avtandilashvili M., Wells D.P., Donnelly E.H. Initial investigation of ^{222}Rn in the Tbilisi urban environment. // Health Physics, 95(6), 2008, pp.761–765.
- [5] Vaupotič J., Bezek M., Kapanadze N., Melikadze G., Makharadze T. Radon and thoron measurements in West Georgia. // Journal of the Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth, 15, 2012, pp. 128–137.
- [6] EC, 2020. European Commission, Radiation Protection N° 193, Radon in workplaces, Implementing the requirements in Council Directive 2013/59/Euratom, Luxembourg. // Publications Office of the European Union, ISBN 978-92-76-10531-2.
- [7] WHO, 2009. // In: Zeeb, H., Shannoun, F. (Eds.), World Health Organization. WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. WHO, Geneva. ISBN 978-92-4-154767-3.
- [8] Pantelić G., Čeliković I., Živanović M., Vukanac I., Nikolić Jk., Cinelli G., Gruber V. Literature review of indoor radon surveys in Europe. // Publications Office of the European Union; Luxembourg, ISBN 978-92-79-97643-8 (online), 2018; doi:10.2760/977726 (online), JRC114370.
- [9] Kapanadze N., Melikadze G., Tchankvetadze A., Todadze M., Jimsheladze T., Gogichaishvili Sh., Chikviladze E., Chelidze L., Vaupotič J. Radon in soil gas in crystalline shales and volcanic grounds in selected regions of Georgia. // 16th International workshop GARM - Geological aspects of Radon risk mapping; September 19th–21st, 2023, Prague, Czech Republic.

**ატომური ენერგეტიკის განვითარებასთან დაკავშირებული საქართველოს შავიზღვისპირა
ზონის რადიოეკოლოგიური დაბინძურების საფრთხეები**

***უჩანეიშვილი ს., *ივანიშვილი ნ., **სალუქვაძე ე., ***ტულაშვილი ე., *კალმახელიძე ს.,
*გოგებაშვილი მ.**

**ივანე ბერიტაშვილის სახელობის ექსპერიმენტული ბიომედიცინის ცენტრი, თბილისი, საქართველო
**ვახუშტი ბაგრატიონის გეოგრაფიის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
***ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო
sofiauchaneishvili@gmail.com*

ანოტაცია. შავი ზღვის აუზის ქვეყნებში, ატომური ენერგეტიკის განვითარებასთან დაკავშირებით, აქტუალური ხდება შესაძლო ტექნოგენური ავარიების დროს რადიოეკოლოგიური რისკების შესწავლა. ნაშრომში განხილულია საქართველოს შავი ზღვის სანაპირო ზონის რადიონუკლიდებით დაბინძურების პროგნოზირების რამდენიმე სცენარი. ჩერნობილისა და ფუკუშიმას ატომურ სადგურებზე მომხდარი ინციდენტებზე დაყრდნობით, შესწავლილია ეკოსისტემებში ანთროპოგენური რადიონუკლიდების მიგრაციისა და აკუმულაციის ზოგიერთი პარამეტრი კონკრეტული ლანდშაფტისთვის დამახასიათებელი ნიადაგის ტიპის გათვალისწინებით.

საკვანძო სიტყვები: რადიონუკლიდური დაბინძურება, ნიადაგი, რადიოეკოლოგიური რისკები

ჩერნობილისა და ფუკუშიმას ატომურ ელექტროსადგურებზე მომხდარი ავარიების მიუხედავად, ატომური ენერგეტიკა აქტიურად ვითარდება მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში. ფორმირდება მთელი რიგი რეგიონებისა, სადაც აღნიშნული ფენომენი მნიშვნელოვან ინტერნაციონალურ ხასიათს იძენს [1,2]. ასეთ რეგიონთა რიცხვს მიეკუთვნებიან შავიზღვისპირა ქვეყნები; კერძოდ, თურქეთში რუსულ-თურქული პროექტის მშენებლობის დამთავრებისა და ქალაქ სინოპში ახალი ატომური ელექტროსადგურის (4 ენერგობლოკი-თითოეულის სიმძლავრე 1140 მეგავატს შეადგენს) პროექტირების შედეგად იქმნება სიტუაცია, რომ შავი ზღვის სანაპიროს ყველა ქვეყანა, გარდა საქართველოსი, აქტიური ბირთვული ენერგეტიკის მქონე ქვეყნად მოიაზრება. ამასთან დაკავშირებით, აქტუალური ხდება საქართველოს შავიზღვისპირა ზონის რადიონუკლიდებით შესაძლო დაბინძურების შესწავლა და პროგნოზირება. აღნიშნულთან მიმართებაში, მეცნიერებს გააჩნიათ ორი გლობალური კატასტროფის გამოცდილება: ფუკუშიმას ავარიის დროს ოკეანის აკვატორიის წყლის დაბინძურების მოდელი და ჩერნობილის ავარიისას სახმელეთო ეკოსისტემების დაბინძურების მაგალითი [3,4].

ჩერნობილის ავარიის შედეგების ანალიზის საფუძველზე ჩამოყალიბდა ახალი კონცეპტუალური მიდგომები, რომელთა მიხედვით დადგენილი იქნა, საჭირო გზით რადიონუკლიდების დიდ მანძილზე გავრცელების გამო, საქართველოს შავი ზღვის სანაპიროს სახმელეთო ეკოსისტემების მაღალი დაბინძურების დონე. იმისათვის, რომ სამომავლოდ განისაზღვროს, თუ რამდენად დიდ საფრთხეს წარმოადგენს ატმოსფერული გზით გადატანილი რადიონუკლიდების მოხვედრა სანაპიროს ტერიტორიაზე, ჩვენ მიერ შესწავლილი იყო სამარკერო ანთროპოგენური რადიონუკლიდების-¹³⁷Cs და ⁹⁰Sr-ეკოსისტემებში აკუმულაციისა და მიგრაციის ზოგიერთი პარამეტრი კონკრეტული ლანდშაფტისთვის დამახასიათებელი ნიადაგის ტიპის გათვალისწინებით. ამა თუ იმ ეკოსისტემის რადიონუკლიდებით შესაძლო დაბინძურების პროგნოზის მოდელის დამუშავებისას, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება რადიონუკლიდების არსებობის მდგომარეობისა და ფორმის შესწავლას, რაც განსაზღვრავს მათ პირველად ურთიერთქმედებას ნიადაგურ-მცენარულ საფართან.

ატმოსფეროდან დალექილი რადიონუკლიდების მიგრაცია ნიადაგურ-მცენარულ საფარში და მათი

მონაწილეობა ნივთიერებათა წრებრუნვის ბიოგეოქიმიურ ციკლში დამოკიდებულია კონკრეტულ ლანდშაფტურ პირობებზე. ამ თვალსაზრისით განსაკუთრებულ ადგილს იკავებს გავრცელების საწყისი სუბსტრატი-ნიადაგი. როგორც ცნობილია, ბიოგეოცენოზური სისტემების რთულ ჯაჭვში ნიადაგი წარმოადგენს მნიშვნელოვან რგოლს, რომელშიც ერთვება ხმელეთზე გაფრქვეული ტოქსიკური კომპონენტები. რადიონუკლიდებთან მიმართებაში ნიადაგის მაღალი სორბციისუნარიანობა იწვევს აღნიშნული ტოქსიკური ნივთიერებების აკუმულაციას ნიადაგის ზედა ჰორიზონტებში.

ნაჩვენებია, რომ ნიადაგის ყველა ის ფიზიკო-ქიმიური მაჩვენებელი, რომელიც განაპირობებს ნიადაგის მიერ რადიონუკლიდების სორბციის უნარიანობის გაზრდას, ამცირებს მათ შეღწევას მცენარეში. ნიადაგის მახასიათებელთა უმრავლესობა მჭიდრო კავშირშია ერთმანეთთან, ამიტომ თითოეული პარამეტრის მოქმედების ხარისხი დამოკიდებულია მთელი კომპლექსის ქმედებაზე. მცენარეში ცეზიუმის იზოტოპის შეღწევაზე არსებით გავლენას ახდენს კალიუმის კათიონებისა (K^+) და ჰუმუსის შემცველობა, რაც განსაზღვრავს ნიადაგის მჟავიანობას. დადგენილია მცენარეში ^{137}Cs -ს გადასვლის კოეფიციენტსა და ნიადაგში მიმოცვლითი კალიუმის (K_2O) შემცველობას შორის უარყოფითი დამოკიდებულება. კალიუმი კონკურენტულ გავლენას ახდენს ცეზიუმის იზოტოპის შეღწევაზე, ანუ რაც უფრო მეტია მიმოცვლითი კალიუმი ნიადაგში, მით ნაკლებია ^{137}Cs -ს შეღწევის ალბათობა მცენარეში.

აღნიშნული ეფექტი გასაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს საქართველოს შავიზღვისპირა ლანდშაფტებთან მიმართებაში, ვინაიდან ამ ზონის ნიადაგები ხასიათდებიან კალიუმის შემცველობის შედარებით დაბალი დონით. მეორე მხრივ, ასეთ ნიადაგებში რადიონუკლიდური დაბინძურების ფორმირების სირთულე გამოიხატება ორგანული კომპონენტების მაღალი შემცველობით, კერძოდ, მცენარეში ცეზიუმისა და სტრონციუმის იზოტოპების გადასვლაზე გავლენას ახდენენ ჰუმუსის მჟავები, განსაკუთრებით ჰუმინის მჟავა. ისინი რთულ კომპლექსებს, ანუ ჰუმატებს ქმნიან რადიონუკლიდებთან, ამიტომ ორგანული კომპლექსებიდან სტრონციუმის შეღწევა 2-4-ჯერ მცირდება, ხოლო ცეზიუმის-1,5-ჯერ.

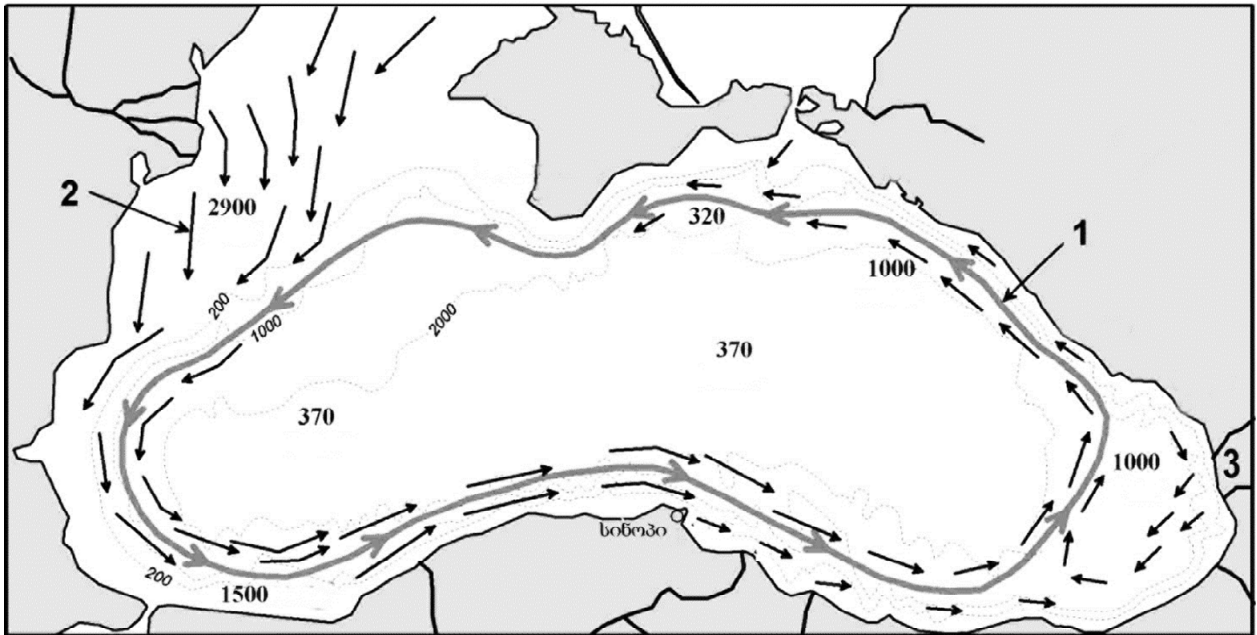
თუმცა კოლხეთისთვის დამახასიათებელ ტორფიან-ჭაობიან ნიადაგებზე რადიონუკლიდების მაღალი ბიოლოგიური შეღწევადობა უკავშირდება ორგანული ნივთიერებების მიერ, ორგანული კოლოიდების ზედაპირზე, რადიონუკლიდების იონების დაფიქსირების უნარს, რის გამოც არ არის უზრუნველყოფილი რადიონუკლიდების მჭიდრო სორბცია და იზრდება მათი შეღწევადობა მცენარეში. გარდა აღნიშნულისა, ტორფიან-ჭაობიან ნიადაგებში მომატებულია მჟავიანობა, რაც უზრუნველყოფს რადიონუკლიდების მარილების კარგ ხსნადობას და შეღწევას მცენარეში. თუ გავითვალისწინებთ, რომ სანაპირო ზონაში ძირითადად გავრცელებულია წითელმიწა, ყვითელმიწა და ჭაობიანი ნიადაგები, იქმნება რადიონუკლიდების დაგროვების მაღალი საფრთხეების სიტუაცია როგორც ნიადაგის შრეებში ხანგრძლივი ფიქსაციის ფორმით, ისე აქტიური ტრანსპორტის სახით სისტემაში ნიადაგი-მცენარე. უკანასკნელი განსაკუთრებულ საფრთხეს უქმნის სანაპირო ზონის სოფლის მეურნეობას.

ცხრილი 1. საქართველოს შავი ზღვის სანაპირო ზონისთვის დამახასიათებელი ნიადაგების მიერ რადიონუკლიდების შთანთქმის დონე (% საკონტროლო ხსნართან მიმართებაში)

ნიადაგის ტიპი	რადიონუკლიდი	
	ცეზიუმ-137	სტრონციუმ-90
წითელმიწა	95,6	87,6
ყვითელმიწა	94,0	80,5
ჭაობიანი	94,9	70,3

არანაკლებ მნიშვნელოვან დაბინძურების წყაროს წარმოადგენენ შავი ზღვის რეგიონის ქვეყნების ბირთვულ ობიექტებზე შესაძლო ტექნიკური ზემოქმედებით გამოწვეული ავარიები. ტექნოგენურ მიზეზებს ემატება სამხედრო კონფლიქტებთან დაკავშირებული ავარიების მაღალი რისკები; ასე მაგალითად, ზაპოროჟიეს (ევროპაში ყველაზე მსხვილი ატომური ელექტროსადგური) განვითარებული მოვლენები არ გამორიცხავენ შავი ზღვის რეგიონის რადიონუკლიდებით დაბინძურების საფრთხეებს. ამ

თვალსაზრისით, მოსალოდნელია წყლის ეკოსისტემების მეშვეობით რადიოიზოტოპების მოხვედრა შავი ზღვის აუზში. მსხვილი მდინარეების ჩადინების გზით, ზღვაში შემოტანილი რადიონუკლიდების დიდი ნაწილი ერთვება დინებაში, რომელიც მიმდინარეობს საათის ისრის მოძრაობის საპირისპირო მიმართულებით შავი ზღვის პერიმეტრის გასწვრივ და გადაიტანება მნიშვნელოვან მანძილზე (სურათი-1).



სურ. 1. შავი ზღვის აკვატორიაში რადიონუკლიდების მიგრაციის მიმართულება (ჩერნობილის ატომური სადგურის ავარიის მოდელის მიხედვით).

1. შავი ზღვის დინების ძირითადი მიმართულება; 2. რადიონუკლიდური ნაწილაკების მიგრაციის მიმართულება; 3. საქართველოს შავიზღვისპირა ზონა (ციფრული მონაცემებით ასახულია ჩერნობილის ავარიის დროს წარმოქმნილი დაბინძურებული ნალექის აქტივობა-ბეკერელი/მ²)

მოძრაობისას რადიონუკლიდები ილექება ფსკერზე და ფორმირდება დაბინძურებული ნალექი, რომელიც საფრთხეს უქმნის სანაპირო ზონას [5]. ასეთი დალექვის დრო და ადგილი იცვლება სანაპირო ზოლის რელიეფისა და წყლის დინების სპეციფიკასთან მიმართებაში.

ზემოაღნიშნული ფაქტორებიდან გამომდინარე, ცნობილია 3 ძირითადი სიტუაცია: ა) ძალიან ძლიერი ჩადინების წყარო (მდინარეები-დუნაი, დნეპრი) ან კონტინენტალურ ფერდობებთან ახლოს მდებარეობა (კავკასიის რეგიონის მდინარეები), რომლებიც საგრძნობლად აბინძურებენ სანაპირო ზოლს; ბ) რადიონუკლიდებით დამაბინძურებელი წყაროს უშუალოდ სანაპირო ზოლში მოხვედრა; გ) რადიონუკლიდების ნაწილაკების ატმოსფეროდან ზღვაში მოხვედრა.

ჩერნობილის კატასტროფის მოდელის მიხედვით, შავი ზღვის აკვატორიაში რადიონუკლიდების მიგრაციის ძირითადი ნაკადი სცდება საქართველოს შავიზღვისპირა ზონას (სურ.1). განსხვავებული სურათია ქალაქ სინოპში დაპროექტებულ ატომურ ელექტროსადგურთან მიმართებაში. თუ გავითვალისწინებთ სინოპში დაგეგმილი ატომური სადგურის ადგილმდებარეობას, რადიონუკლიდებით წყლის დაბინძურების შემთხვევაში, მათი (რადიონუკლიდების) მიგრაციის მიმართულება საფრთხეს უქმნის საქართველოს შავი ზღვის სანაპირო ზოლს. იქმნება სიტუაცია, რომ საქართველოს სანაპირო ზოლი შეიძლება იქცეს რადიონუკლიდებით მაღალი დაბინძურების ზონად, ვინაიდან შავი ზღვის ძირითადი დინებისგან განსხვავებით, სანაპირო ზოლის მეორადი დინებით რადიონუკლიდების მიგრაციას ემატება, კავკასიის რეგიონის მდინარეების ჩადინების გამო, ამ მდინარეებში ატმოსფერული გზით მოხვედრილი რადიოიზოტოპების წყლის მეშვეობით გადაადგილება.

ლიტერატურა

- [1] Langlois L. IAEA Action Plan on nuclear safety. // Energy Strategy Reviews, 2013.
- [2] Gasca R. Quality assurance during design, construction and operation of nuclear power plants. // Infrastructure and Methodologies for the Justification of Nuclear Power Programmes, 2012.
- [3] Benamrane Y., Wybo J.-L., Armand P. Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: what has changed in the use of atmospheric dispersion modeling?. // Journal of Environmental Radioactivity, 2013.
- [4] Waddington P., Thomas J., Vaughan G. J. J-value assessment of remediation measures following the Chernobyl and Fukushima Daiichi nuclear power plant accidents. // Process Safety and Environmental Protection. 2017.
- [5] Есин Н.В., Крыленко В.В. Процессы транспорта и аккумуляции антропогенных радионуклидов в Черном море. // Экология гидросферы, №1 (2), 2018.

DANGERS OF RADIOECOLOGICAL POLLUTION OF THE BLACK SEA COAST OF GEORGIA RELATED TO THE DEVELOPMENT OF ATOMIC ENERGY

*Uchaneishvili S., *Ivanishvili N., **Salukvadze E., ***Tulashvili E., *Kalmaxelidze S., *Gogebashvili M.

** Ivane Beritashvili Center of Experimental Biomedicine, Tbilisi, Georgia*

***Vakhushti Bagrationi Institute of Geography of Ivane Javakishvili Tbilisi State University Tbilisi, Georgia*

****Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*

sofiauchaneishvili@gmail.com

Abstract. The relevance of studying radioecological risks in relation to potential man-made incidents has increased in light of the expansion of nuclear energy in the countries located within the Black Sea basin. This study investigates potential situations pertaining to radionuclide pollution along the coastal regions of Georgia's Black Sea. This analysis examines the mechanisms contributing to the mobility and accumulation of anthropogenic radionuclides in ecosystems, drawing insights from the incidents at the Chernobyl and Fukushima nuclear power plants.

Key words: radionuclide contamination, soil, radioecological risks

მძიმე ლითონების დაბროვება და შემცველობა სამკურნალო მცენარე ფარსმანდუკში (Achillea sedelmeyriana) საქართველოს მაღალმთიან ზონაში

***მათიაშვილი ს., **ჩანქსელიანი ზ.**

**მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო*

***საქართველოს გარემოს დაცვისა და სოფლის მეურნეობის სამინისტროს სამეცნიერო კვლევითი ცენტრი, თბილისი, საქართველო
sophiko.matiashvili@tsu.ge*

ანოტაცია. ეკოლოგიური მდგომარეობის მზარდი გაუარესების პირობებში, სულ უფრო მეტ ყურადღებას იპყრობს, ბიოსფეროს მძიმე ლითონებით დაბინძურების პრობლემა. ბიოსფეროს დამაბინძურებლებს შორისაა მძიმე მეტალები, რომლებიც ყველაზე მეტად აინტერესებთ ხარისხის კონტროლის სხვადასხვა სერვისებს. ბოლო საუკუნეებში მძიმე მეტალების რაოდენობა ჩვენს გარემოში საგრძნობლად გაიზარდა. ისინი ფართოდ გამოიყენება აგროკულტურაშიც. ჩვენი კვლევა ემსახურება სამკურნალო მცენარეებში მძიმე მეტალების დაგროვების ნორმების დადგენას, რაც ყველასთვის აქტუალურ და მნიშვნელოვან საკითხს წარმოადგენს.

საკვანძო სიტყვები: ნიადაგი, მძიმე მეტალები, მცენარე

გარემოს დაბინძურება გამოწვეულია მრავალი ბიოლოგიური აქტივობით, საწარმოებიდან და სატრანსპორტო საშუალებებიდან, გაზისა და მტვრის გამონაბოლქვით, რაც ქმნის ტოქსიკურ ნივთიერებებს, მათ შორის მძიმე მეტალების მძლავრ ტექნოლოგიურ ნაკადებს, ნიადაგებისა და მცენარეების ზედაპირზე, რაც იწვევს ნიადაგის და ჰაერის დაბინძურებას. მძიმე მეტალები სწრაფად გროვდება ნიადაგში და ძალიან დიდი დრო სჭირდება მისგან ამოღებას. მათ მიერ გამოწვეული ტოქსიკურობა დღევანდელი განუყოფელი ნაწილი გახდა. მძიმე მეტალები უხვად არის საკვებში, ჰაერში, წამლებში და კიდევ მრავალ საყოფაცხოვრებო ნივთებში და დიდად აზიანებს ჩვენს ორგანიზმს. მძიმე მეტალებს არავითარი როლი არ აკისრია ადამიანის ფიზიოლოგიაში და უამრავი ქრონიკული დაავადების გამომწვევ ერთ-ერთ ძირითად მიზეზს წარმოადგენს (ნახ.1)



ნახ. 1. ნიადაგის დაბინძურება.

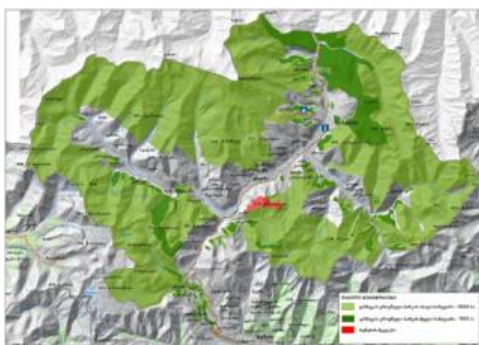
ჩვენი კვლევა სწორედ ემსახურება მცენარის მიერ, მძიმე მეტალების ათვისებას ნიადაგიდან, მის ზღვრულად დასაშვებ ნორმის დადგენას და შეფასებას. საკვლევი ობიექტი გახლავთ სამკურნალო მცენარე ფარსმანდუკი, რომელიც იზრდება მთიან რეგიონში, კონკრეტულად საქართველოსთვის, ყაზბეგში და აქტუალურად მოიხმარება სამედიცინო კუთხით.

ფარსმანდუკი, მრავალწლიანი ბალახების გვარია. რთულყვავილოვანთა ოჯახის, დაახლოებით 150-მდე სახეობას აერთიანებს. საქართველოში გვხვდება 13 სახეობა; მათგან ერთ-ერთია ფარსმანდუკი (Achillea sedelmeyriana), (ნახ.2).



ნახ.2. მცენარე ფარსმანდუკი და მისი აღწერილობა.

იგი შეიცავს ეთერზეთებს, მთრთილავ ნივთიერებებს, C ვიტამინს. (ნახ. 3) ხმარობენ სისხდენის შესაჩერებლად და ჭრილობის შესახორცებლად. ასევე ღვიძლის დაავადების სამკურნალოდ. [1] აღნიშნული მცენარე საქართველოში იზრდება ყაზბეგის ტერიტორიის ნაწილებში. შესაბამისად, საკვლევი მასალა (მცენარე, ნიადაგი), აღებულია აღნიშნული ადგილიდან.



ნახ.3. ყაზბეგის დაცული ტერიტორიების რუკა და სურათი.

ყაზბეგის ფლორა მდიდარია ველური სამკურნალო მცენარეებით, რაც ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ბუნებრივი რესურსია. (ნახ.3) აქ გავრცელებულია, როგორც აღვნიშნეთ, ჩვენთვის საინტერესო, საკვლევი მცენარე ფარსმანდუკი (*Achillea sedelmeyeriana*).

ყაზბეგის ნიადაგები. აქ გვხვდება ტყის ყომრალი ნიადაგები, მდინარე თერგსა და მის რამდენიმე შენაკადის ხეობაში. მდინარეთა ხეობების ძირებზე არის ასევე ალუვიური ნიადაგები. მაღალ მთიან ადგილებში, ნიადაგი ტყის საფარს მოკლებულია. მთა მდელოს კორდიანი ნიადაგები ვრცელდება ზ.დ. 1100-2600 მ-მდე. ლანდშაპტები.

ნიადაგსა და მცენარეებში მძიმე ლითონების შემცველობის კავშირი. ნიადაგში ელემენტის რაოდენობის შემცირება იწვევს მცენარეში მისი შემცველობის შემცირებას. ე.ი. მცენარის განვითარება და მისი ქიმიური შემადგენლობა დამოკიდებულია გეოქიმიურ გარემოზე. ბარიერის გარეშე მცენარეების ფერფლში ლითონის შემცველობა იზრდება ნიადაგში მისი შემცველობის პროპორციულად. ბარიერებში არის კონცენტრაციის ზღვარი, რომლის ზემოთაც მცენარე წყვეტს ელემენტის შეწოვას. ადამიანის ორგანიზმში მძიმე მეტალების შეღწევის ერთ-ერთი გზა არის სამკურნალო მცენარეები (ნახ.2). ბოლო დროს სამკურნალო მცენარეების დაბინძურების საკითხები, სამრეწველო ქარხნებიდან და მანქანებიდან გარე გარემოში შემავალი მძიმე მეტალები მრავალი სპეციალისტის ყურადღებას იპყრობს. ამ თვალსაზრისით ძალიან მნიშვნელოვანია ამ საკითხის შესწავლა [2].

კვლევის მიზანია, შევისწავლოთ მცენარეების გვარის სხვადასხვა სახეობაში მძიმე ლითონების დაგროვება. ყაზბეგის სიმაღლის ზონალურობის პირობებში, პრაქტიკული მნიშვნელობა ნაჩვენებია ფარსმანდუკში, მძიმე მეტალების შემცველობის დამოკიდებულება ნიადაგში მათ კონცენტრაციაზე, აგრეთვე ანთროპოგენური ფაქტორის (სატრანსპორტო საშუალებების გამონაბოლქვის) გავლენა მცენარეებში მძიმე მეტალების დაგროვებაზე.

ევოლუციის სხვადასხვა ეტაპზე, ბიოსფეროს შემადგენლობის ცვლილებებთან ერთად, შეიცვალა მცენარეების ლითონის შთანთქმის უნარი, ამიტომ სხვადასხვა დროს წარმოქმნილი მცენარეული ორგანიზმების ტიპები ხასიათდება ელემენტების განსხვავებული შემცველობით.



ნახ. 4. სამკურნალო ფორმატში მცენარე

მცენარეთა ორგანიზმებზე მოქმედ ფაქტორთა კომპლექსს განსაზღვრავს ტერიტორიის გეოლოგიური ისტორია, ნიადაგის ქიმიური შემადგენლობით და სამრეწველო წარმოების განვითარებით. მცენარე ფარსმანდუკი, მრავალწლოვანი ბალახების გვარი რთულყვავილოვანთა ოჯახს აერთიანებს დაახლოებით 150-მდე სახეობა. საქართველოში გვხვდება 13 სახეობა, მათგან ერთი - *Achillea sedelmeyeriana*. უმეტესობა იზრდება სუბალპური სარტყელის მდელოებსა და ბუჩქნარებში, მცირე ნაწილი-დაბლობზე და მთის ქვედა სარტყელში. აღნიშნული მცენარე ძირითადად ხარობს ყაზბეგის ტერიტორიაზე. ყაზბეგის ფლორა მდიდარია ველური სამკურნალო მცენარეებით, რაც ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ბუნებრივი რესურსია. (ნახ.4). ყაზბეგში გავრცელებულია ჩვენთვის საინტერესო ერთ-ერთი სამკურნალო მცენარე ფარსმანდუკი, რომლსაც საკმაოდ დიდი გამოყენება აქვს ფარმაცევტულ სფეროში. ანალიზის დროს, მცენარეთა მიერ ელემენტების დაგროვების ხარისხი შეფასდა ბიოლოგიური შთანთქმის კოეფიციენტის საფუძველზე, გამოთვლილია, როგორც მცენარის მიწისზედა და მიწისქვეშა ნაწილების ლითონის შემცველობის თანაფარდობა (მგ/კგ მშრალი წონა) ნიადაგში, ელემენტის მთლიან შემცველობასთან, ასევე როგორც ბიოგეოქიმიური მობილურობის კოეფიციენტი, წარმოადგენდა მცენარის ელემენტის შემცველობის თანაფარდობას ნიადაგში, მისი მჟავაში ხსნადი და მოძრავი ფორმების შემცველობასთან. მიღებული შედეგები და გამოტანილი დასკვნები საიმედოა, ვინაიდან ყველა გაზომვა ჩატარდა ელემენტების რაოდენობის გაზომვის აპრობირებულ აღჭურვილობაზე.

ცხრილი 1. მცენარეში მძიმე მეტალების შემცველობა დაუსახლებელ პუნქტში, მგ/კგ.

მცენარის სახეობა, დაუსახლებელი პუნქტი	Fe	Zn	Ni	Pb
ჩვეულებრივი ფარსმანდუკი	420	10,30	2,38	0,82
მინდვრის ტკბილი ფარსმანდუკი	206	4,10	1,60	9,01
კეთილშობილი ფარსმანდუკი	1070	8,40	0,61	2,30
ფარსმანდუკი ბინბერშტეინი	308	4,0	0,20	0,50

მეთოდოლოგიის სერტიფიცირება განხორციელდა მოქმედი GOST სტანდარტის შესაბამისად. შეფასდა ელემენტების შემცველობის გაზომვის შედეგების მეტროლოგიური მახასიათებლები. შედეგების სანდოობის შეფასება ეფუძნება საველე და ლაბორატორიული მასალის სტატისტიკური მეთოდების გამოყენებას [3].

კვლევის თანახმად, დაბლობ ზონის ფონურ რაიონებში Pb გროვდება ფესვებში, დაბინძურებისას - ყვავილებში; დაბინძურებულ ადგილებში, Pb-ის მაქსიმალური რაოდენობა გროვდება ფოთლებში. სხვადასხვა ბუნებრივ ზონაში მზარდი ფარსმანდუკის ჯიშებში (*Achillea millefolium*) მცენარეებში მძიმე მეტალების შემცველობა იცვლება ნიადაგისა და კლიმატური პირობების მიხედვით; ნიადაგსა და მცენარეებში მათი მოძრავი ფორმების შემცველობას შორის ურთიერთობა იცვლება მცენარის ჯიშის

მიხედვით. ეს ურთიერთობა დაფიქსირდა (*Achillea filipendulina*) ფილიპენდულასთვის, მაგრამ არა ფარსმანდუკისათვის [4].

ცხრილი 2. ნიადაგის ანალიზი შდეგები ყაზბეგის მიდამოებში.

ნიადაგის ტიპები	Fe	Zn	Ni	Pb
მდელოს კენჭებზე, ქვიშაზე	10800	26,0	9,5	9,0
მთის მდელოს თიხა	17200	28,0	11,2	13,0
მთის მდელოს კირქვა	21300	26,0	10,0	13,6
მთის მდელოს ქვიშაქვა	35200	45,0	10,0	13,0
მთამდელოს ფიქალის ფენები	36500	31,0	11,0	27,0
ზღვ (ვინაგრადოვი)	38000	50	40	10

ცხრილი 1 და 2-ში მრიცხველი არის მიწისზედა მასა, მნიშვნელში მიწისქვედა მასა. მაქსიმალური დონის გადაჭარბება მონიშნულია მგ/კგ.

დაბინძურებულ პირობებში მძიმე მეტალების დაგროვების სახეობრივი სპეციფიკის შედარებისას გამოვლინდა, რომ ფილიპენდულაში არის Fe, Ni, Pb,-ის აკუმულატორი (ცხრ.2). ფარსმანდუკში აღმოჩნდა ყველაზე მდგრადი დაბინძურების მიმართ Fe, Mn, Zn. ელემენტები ნიადაგებში მათი საშუალო შემცველობის მიხედვით შეიძლება განლაგდეს შემდეგ რიგებში კლებადობით: მაქსიმალური საერთო შემცველობა ყაზბეგის ნიადაგებში დაფიქსირდა Fe და Mn-ზე, რასაც მოჰყვა (კლების თანმიმდევრობით) Zn, Ni, Pb.

ცხრილი 3. მცენარეში მძიმე მეტალების შემცველობა მგ/კგ.

მცენარის სახეობა	Fe	Zn	Ni	Pb
ჩვეულებრივი ფარსმანდუკი	197 / 235	4,50 / 5,6	1,03 / 1,80	0,26 / 0,50
მინდვრის ტკბილი ფარსმანდუკი	416 / 438	9,50 / 12,6	1,75 / 1,3	0,27 / 0,40
კეთილშობილი ფარსმანდუკი	530 / 1050	3,80 / 5,8	0,19 / 0,10	0,28 / 0,44
ფარსმანდუკი ბინბერშტეინი	306 / 1068	3,80 / 4,8	0,52 / 0,45	0,45 / 0,86

ყაზბეგის ნიადაგებში მიკროელემენტების შემცველობის დიდი რყევები, უპირველეს ყოვლისა, განპირობებულია ნიადაგწარმოქმნელი ქანების მრავალფეროვნებით, რომლებზეც ისინი განვითარებულია. მაგალითად, ფიქალზე მთის მდელოს ნიადაგში Fe-ის შემცველობა თითქმის 2-ჯერ აღემატება მის შემცველობას კირქვაზე განვითარებულ მთის მდელოს ნიადაგში. საავტომობილო გზიდან 5 მ მანძილზე Pb-ის შემცველობა 9.0 მგ/კგ-ია, რაც ფონზე 30-ჯერ მეტია, იაროს მდელოს ტკბილი მცენარეების მიწისზედა მასაში. ხოლო მაქსიმალური დასაშვები კონცენტრაცია არის 1.8-ჯერ - ტყვიის შემცველობა. ფოთლებში არის 26.0 მგ/კგ, რაც აღემატება ზღვ-ს 4.3-ჯერ (ცხრ. 3). ნიადაგში ტყვია მცირე რაოდენობით 3,4 მგ/კგ, ტყვიის ძალიან დიდი კონცენტრაცია გროვდება ფოთლებში, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ ფოთლები ჰაერიდან შთანთქმავს ტოქსიკურ ლითონს. ფარსმანდუკის მცენარეში Pb-ის შემცველობა მიწისზედა მასაში იზრდება 3-8-ჯერ.

დასკვნები

დაბლობ, მთისწინა და შუამთის ზონების დაბინძურებულ ნიადაგებში ფონურ ნიადაგებთან შედარებით Zn, Pb-ის კონცენტრაცია აღმოჩნდა 1,6-21,6-ჯერ მეტი. განისაზღვრა მძიმე მეტალების დაგროვებისა და განაწილების სახეობრივი სპეციფიკა *Achillea L.* გვარის სხვადასხვა სახეობის გენერაციულ და ვეგეტატიურ ორგანოებს შორის, რომლებიც იზრდება ფონურ ადგილებში და დაბინძურებულ პირობებში. მთისწინეთის ზონის ფონურ რაიონებში, Zn და Pb ყველაზე მაღალი კონცენტრაცია გროვდება ფესვებში.

დადგენილია Fe-ის შემცველობის დამოკიდებულება იარუსის მცენარეებში სიმაღლის ზონალობაზე. ზღვის დონიდან სიმაღლის მატებასთან ერთად იცვლება ნიადაგის ტიპი, კლდეები და ბუნებრივი და კლიმატური პირობები. Ni და Cu-ის ყველაზე მაღალი კონცენტრაცია გვხვდება *Achillea millefolium* მცენარეებში, რომლებიც იზრდება მთისწინეთის ზონაში, ვინაიდან Ni ნაერთი მოძრავია ტუტე ნიადაგებში. გამოვლინდა შუა მთის ზონის მცენარეებში Fe-ს და Zn-ის მაქსიმალური შემცველობა. სიმაღლესთან ერთად ჰაერის ტემპერატურა იკლებს და ნალექის რაოდენობა მატულობს, რაც გავლენას ახდენს ნიადაგში Fe-ს და Zn-ის მობილურობაზე, გარდა ამისა, მოქმედებს ნიადაგის pH.

წაბლისფერ ნიადაგებზე (*Achillea filipendulina*) არის Fe, Ni, Pb-ის აკუმულატორი, ამიტომ ეს სახეობა შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც ფიტორემედიატორი. (*Achillea millefolium*) აღმოჩნდა ყველაზე მდგრადი დაბინძურების მიმართ Fe, Mn, Zn, Cu, ბირბერნშტეინის სახეობა მდგრადია Ni, Pb, მიმართ.

ლიტერატურა

[1] სარტყელში. // ქართული საბჭოთა ენციკლოპედია, ტ.10, თბილისი, 1986 წ., გვ. 233.

[2] ჩანქსელიანი ზ., ზარდალიშვილი ო. აგროქიმიის ეკოლოგიური პრინციპები. // თბილისი, 1992, 107 გვ.

[3] მათიაშვილი ს., ჩანქსელიანი ზ., მეფარიძე ე. რადიონუკლიდებისა და მძიმე ლითონების გავრცელების შედარება საქართველოს ნიადაგებზე. // საქართველოს გეოფიზიკური საზოგადოების ჟურნალი, ISSN: 1512-1127, თბილისი, 2022

[4] ნიადაგში მძიმე ლითონებისა და მეტალოიდების შემცველობის სტანდარტები. // ნიადაგმცოდნეობა, №3, 2012, გვ. 368-375.

ACCUMULATION AND CONTENT OF HEAVY METALS IN THE MEDICINAL PLANT ACHILLEA SEDELMAYERIANA IN THE HIGH-MOUNTAIN ZONE OF GEORGIA

Matiashvili S., Chankseliani Z.

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

**Scientific research center of the Ministry of Environment and Agriculture of Georgia, Tbilisi, Georgia
sophiko.matiashvili@tsu.ge

Abstract. In the conditions of the growing deterioration of the ecological situation, the problem of heavy metal pollution of the biosphere is attracting more and more attention. Among the biosphere pollutants, heavy metals are of most interest to various quality control services. In recent centuries, the amount of heavy metals in our environment has increased significantly. They are also widely used in agriculture. Falling research serves to determine the norms of accumulation of heavy metals in medicinal plants. Which is a relevant and important issue for everyone.

Key words: Soil, heavy metals, plant

ANGSTROM FIRE INDEX AS A BIOCLIMATIC INDICATOR (USING THE EXAMPLE OF THE IMPACT ON THE SPREAD OF COVID-19 IN TBILISI)

Amiranashvili A., Bliadze T., Japaridze N., Khazaradze K., Revishvili A.

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

***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*

avandilamiranashvili@gmail.com

Abstract: *The results of a study of the influence of diurnal values of Angstrom Fire Index (AFI, temperature and air relative humidity combination) on the infection positivity rate with coronavirus COVID-19 (IR) of the population of Tbilisi from September 1, 2020 to May 31, 2021 are presented. It was found that an increase in AFI values (reduction of fire danger) leads to an increase in IR. Thus, with the "Low" fire danger category, the IR value averaged 11.5%, and with the "Extreme" category - 3.5%. The relationship between the AFI and IR values has the form of a second power polynomial. Thus, AFI also manifests itself as a bioclimatic indicator. In the future, it is planned to compare AFI values with various indicators of human health.*

Key words: *Bioclimatic index, Angstrom Fire Index, COVID-19, infection positive rate.*

Introduction

The Covid-19 pandemic in the world, including in Georgia, has left severe consequences. According data to the National Center for Disease Control and Public Health of Georgia [<http://data.ncdc.gov/?LangID=en>] from February 27, 2020 to September 30, 2022 in Georgia 1785137 new cases of COVID-19 infection were registered; died - 16912 people. Due to the sharp decline in coronavirus infection in Georgia after September 30, 2022, official statistics on COVID-19 are not published.

Scientists and specialists from various disciplines from all over the world, together with epidemiologists and doctors, have joined in intensive research on this unprecedented phenomenon (including in Georgia [2-10]), providing all possible assistance to them. A significant number of papers are devoted to studies of the influence of various meteorological factors on the COVID-19 pandemic [11-13]. Similar studies were also conducted in Georgia.

For example, in [14] the results of a study of the influence of diurnal values of separate components of simple thermal indices (temperature and air relative humidity, wind speed) on the infection positivity rate with coronavirus COVID-19 (IR) of the population of Tbilisi from September 1, 2020 to May 31, 2021 are presented. It was found that IR values are inversely correlated with air temperature and wind speed, and positively correlated with air relative humidity. The effect of four different thermal indices (air effective temperature and Wet-Bulb-Globe-Temperature) on the IR values averaged over the scale ranges of their categories was studied. It has been found that an increase of the air effective temperature leads to a decrease of the IR values. In the latter case, the level of significance of the relationship between thermal indices and IR values is much higher than in the case of the relationship between IR and separate components of these indices.

In this work results of the study of influence of Angstrom Fire Index on the positive rate of infection of the population of Tbilisi city with the COVID-19 virus over the same period of time are presented.

Study area, material and methods

Study area – Tbilisi (the capital of Georgia).

Data of agency on the environment of Georgia about the daily max values of air temperature - T (°C), air min relative humidity – RH (%) for Tbilisi during September 1, 2020 to May 31, 2021 were used in the work. For the same days, data of National Center for Disease Control and Public Health of Georgia about infection positivity rate with coronavirus COVID-19 (IR) of the population of Tbilisi were used (IR = Confirmed Coronavirus Cases/Test Number, %).

The Swedish Angstrom Fire Index $AFI = (R/20) + (27-T)/10$. The gradations of the values of AFI are as follows: I. $AFI \geq 4.1$ – Low, II. $AFI = 4.0 \div 3.0$ - Moderate, III. $AFI = 2.9 \div 2.5$ - High, IV. $AFI = 2.4 \div 2.0$ - Very High, V. $AFI < 2.0$ – Extreme [15,16].

Results and discussion

Results in Fig. 1 and 2 are presented.

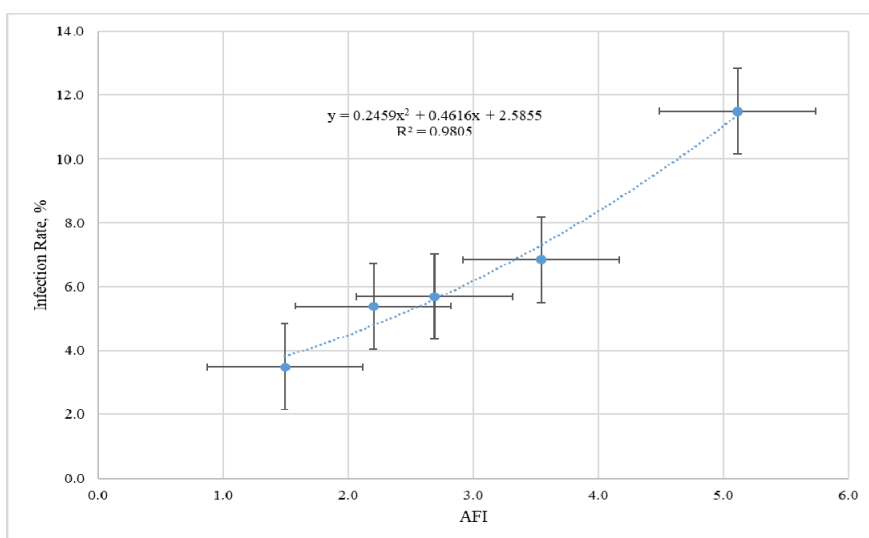


Fig. 1. Connection of COVID-19 Infection Rate with values of Angstrom Fire Index (AFI).

Connection of COVID-19 Infection Rate with Angstrom Fire Index (AFI) has the form of a two power polynomial (Fig. 1).

Fig. 2 shows that values of IR under different categories AFI decrease from 11.5 % (“Low”) to 3.5 % (“Extreme”).

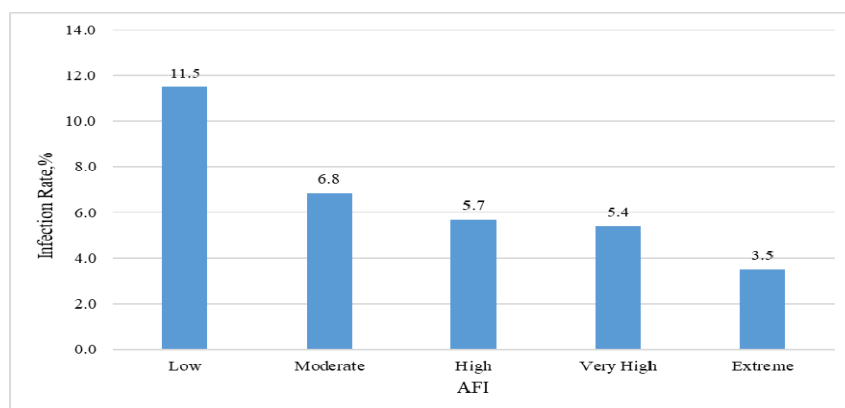


Fig. 2. Values of COVID-19 Infection Rate under different categories of Angstrom Fire Index (AFI).

Thus, it has been established that an increase in AFI values (a decrease in the degree of fire hazard) leads to an increase in IR values. At the same time, the relationship between these parameters is described mathematically with a high level of significance. This means that AFI in this case also manifests itself as a bioclimatic indicator. In principle, this was to be expected, since AFI, like a number of other simple bioclimatic indices, is a combination of temperature and relative air humidity. The main result of this study is to identify the suitability of the standard AAA scale as an indicator of the bioclimatic situation (similar to simple thermal indices [14,16]).

Conclusion

In the future, it is planned to compare AFI values with various indicators of human health. If the standard AAA scale, like other thermal indices, turns out to be suitable for determining the degree of comfort-discomfort of a person's health state, then AAA, along with its main function, can be included in the well-known list of bioclimatic indices.

References

- [1] Covid-19 Georgia. COVID-19 Report of the National Center for Disease Control & Public Health, 2020-2022. The 9th Revision. 163 p., 2022, (in Georgian). <http://test.ncdc.ge/Handlers/GetFile.ashx?ID=c6c26041-e123-4591-b1c6-50103eb5205f>
- [2] Amiranashvili A.G., Khazaradze K.R., Japaridze N.D. Twenty weeks of the pandemic of coronavirus Covid-19 in Georgia and neighboring countries (Armenia, Azerbaijan, Turkey, Russia). Preliminary comparative statistical data analysis. // Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 364-370.
- [3] Amiranashvili A.G., Khazaradze K.R., Japaridze N.D. Analysis of twenty-week time-series of confirmed cases of New Coronavirus COVID-19 and their simple short-term prediction for Georgia and neighboring countries (Armenia, Azerbaijan, Turkey, Russia) in amid of a global pandemic. // medRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2020.09.09.20191494>, 2020, 13 p. Europe PMC, <https://europepmc.org/article/ppr/ppr213467>
- [4] 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 Short-Term Interval Prediction from September 2020 to February 2021. // medRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2021.04.01.21254448>, 2021, 18 p.
- [5] 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 Short-Term Interval Prediction in Spring 2021. // medRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2021.06.16.21259038>, 2021.
- [6] 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 Two-Week Interval Prediction in Summer 2021. // medRxiv preprint, 2021, doi: <https://doi.org/10.1101/2021.09.08.21263265>, 2021, 20 p.
- [7] Amiranashvili A., Khazaradze K., Japaridze N., Revishvili A. Analysis of the Short-Term Forecast of Covid-19 Related Confirmed Cases, Deaths Cases and Infection Rates in Georgia from September 2020 to October 2021. // 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. 167 - 171.
- [8] 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 September 1, 2021 to December 31, 2021. 22 p. // Europe PMC plus. Preprint from medRxiv, 16 Jan 2022, DOI: 10.1101/2022.01.16.22269373, PPR: PPR443384
- [9] 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>
- [10] 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>
- [11] Nottmeyer L.N., Sera F. Influence of temperature, and of relative and absolute humidity on COVID-19 incidence in England - A multi-city time-series study. // Environ. Res. 196: 110977, 2021
- [12] Ceylan Z. Insights into the relationship between weather parameters and COVID-19 outbreak in Lombardy, Italy. // International Journal of Healthcare Management. 14(1), 2021, pp. 255-263.
- [13] Abdullrahman M. The effect of meteorological conditions on the spread of COVID-19 cases in six major cities in Saudi Arabia. // J. Comm. Med. and Pub. Health. Rep., ISSN: 2692-9899, 3(01), 2022, 6 p. <https://doi.org/10.38207/JCMPHR/2022/FEB/03010410>
- [14] 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>

- [15] Bliadze T., Amiranashvili A., Chkhitunidze M., Laghidze L. Statistical Analysis of Angstrom Fire Index for Kutaisi, Georgia. // II Int. Sc. Conf. “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>
- [16] 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”, Tbilisi 2023, 406 p., <https://doi.org/10.52340-/mng.9789941334658>

MORTALITY VARIABILITY IN GEORGIA IN 1994-2022

¹Japaridze N., ²Khazaradze K., ³Chkhitunidze M., ⁴Revishvili A.

¹Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia

²Ministry of Internally Displaced Persons from Occupied Territories, Labour, Health and Social Affairs of Georgia, Tbilisi, Georgia

³Georgian State Teaching University of Physical Education and Sport, Tbilisi, Georgia

⁴Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
njaparidze@moh.gov.ge

Abstract: The paper presents the 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.

Key words: Human health, mortality, environment.

Introduction

For many years, M. Nodia Institute of Geophysics, TSU together with medical organizations, has been conducting research into the influence of various natural and anthropogenic factors on the health of the population of Georgia [1,2]. Over the past 10 years, these studies have been successfully continued [3-10]. During the Covid-19 pandemic, a number of works were carried out on statistical analysis of various components of the pandemic, including ten-day, two-week and monthly interval forecasting of these components (infection cases, infection rate, death cases) [11-13]. In the post-Covid-19 period, studies of the influence of various bioclimatic indices on the spread of this infection have begun and will continue [14,15].

This work is part of these studies. Below are the results of a statistical analysis of the variability of population mortality in Georgia and its individual regions in 1994-2022. The role of the Covid-19 pandemic in the increase in mortality during its existence (2020-2021) is shown.

Study area, material and methods

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

Data of National Statistics Office of Georgia [<https://www.geostat.ge/en>] on annual mortality to 1000 population (M) from 1994 to 2022 is used.

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: Mean – average values; Min – minimal values; Max - maximal values; St Dev - standard deviation; Cv – coefficient of variations ($Cv = 100 \cdot St\ Dev / Mean, \%$).

Differens between mean annual mortality in Georgia and its regions for different time intervals: $\Delta(I) = M(2007-2019) - M(1994-2006)$; $\Delta(II) = M(2020-2021) - M(1994-2022)$; $\Delta(III) = M(2020-2021) - M(1994-2006)$; $\Delta(IV) = M(2020-2021) - M(2007-2019)$; $\Delta(V) = M(2020) - M_Max(1994-2019, 2022)$; $\Delta(VI) = M(2021) - M_Max(1994-2019, 2022)$.

Difference between mean annual values of M was produced with the use of Student's criterion with the level of significance α not worse than 0.15.

Results and discussion

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

In Fig. 1 the time series of annual mortality in Georgia and its regions from 1994 to 2022 are presented.

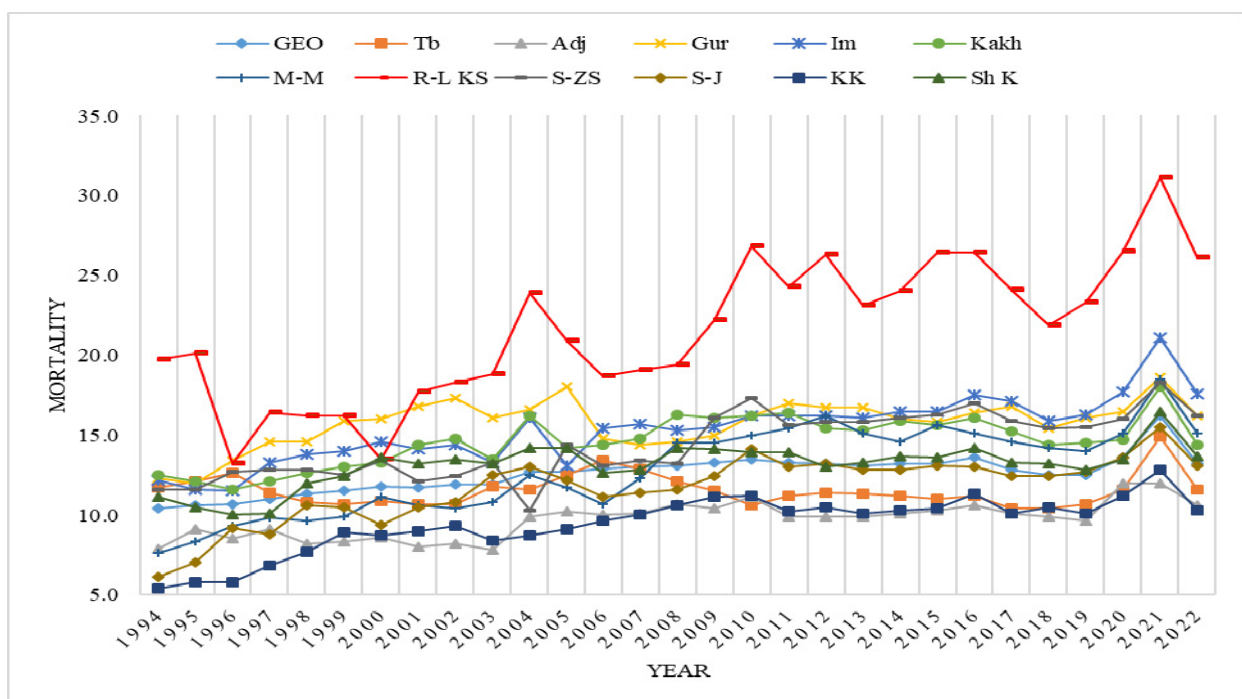


Fig. 1. Time series of annual mortality in Georgia and its regions from 1994 to 2022.

In Table 1 the statistical characteristics of annual mortality in Georgia and its regions for three periods of time are presented.

In particular, as follows from Fig. 1 and Table 1, 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).

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 (2020-2021) 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).

Table 1. Statistical characteristics of annual mortality in Georgia and its regions.

Period	1994-2022 (Full period)											
Region	GEO	Tb	Adj	Gur	Im	Kakh	M-M	R-L KS	S-ZS	S-J	KK	Sh K
Max	16.2	14.9	12.0	18.6	21.1	18.0	18.5	31.1	18.3	15.5	12.8	16.5
Min	10.4	10.4	7.8	12.0	11.5	11.6	7.6	13.2	10.3	6.1	5.4	10.0
Mean	12.6	11.5	9.7	15.8	15.3	14.6	12.8	21.5	14.4	11.7	9.4	13.1
St Dev	1.2	1.0	1.1	1.5	2.1	1.5	2.7	4.4	2.0	2.1	1.8	1.4
Cv,%	9.4	8.6	11.8	9.5	13.4	10.6	21.4	20.4	14.1	17.7	18.7	10.4
Period	1994-2019, 2022 (Period without Covid-19 pandemic)											
Max	13.6	13.4	11.1	18.0	17.6	16.4	16.2	26.8	17.3	14.1	11.3	14.2
Min	10.4	10.4	7.8	12.0	11.5	11.6	7.6	13.2	10.3	6.1	5.4	10.0
Mean	12.4	11.4	9.5	15.6	15.0	14.5	12.5	21.0	14.2	11.5	9.3	13.0
St Dev	1.0	0.8	1.0	1.4	1.7	1.5	2.6	4.0	1.9	2.0	1.7	1.2
Cv,%	7.8	6.8	10.3	9.2	11.4	10.1	20.5	19.1	13.6	17.1	18.0	9.5
Period	2020-2021 (Period with Covid-19 pandemic)											
Max	16.2	14.9	12.0	18.6	21.1	18.0	18.5	31.1	18.3	15.5	12.8	16.5
Min	13.6	11.6	12.0	16.5	17.7	14.7	15.1	26.5	16.0	13.6	11.2	13.5
Mean	14.9	13.3	12.0	17.6	19.4	16.4	16.8	28.8	17.2	14.6	12.0	15.0
St Dev	1.8	2.3	0.0	1.5	2.4	2.3	2.4	3.3	1.6	1.3	1.1	2.1
Cv,%	12.3	17.6	0.0	8.5	12.4	14.3	14.3	11.3	9.5	9.2	9.4	14.1

In Table 2 the differences between mean annual mortality in Georgia and its regions for different time intervals are presented

Table 2. Differences between mean annual mortality in Georgia and its regions for different time intervals.

Region	$\Delta(I)$	$\Delta(II)$	$\Delta(III)$	$\Delta(IV)$	$\Delta(V)$	$\Delta(VI)$
GEO	1.5	2.3	3.3	1.8	0	2.6
Tb	-0.4	1.7	1.6	2.0	-1.8	1.5
Adj	1.4	2.3	3.2	1.8	0.9	0.9
Gur	0.7	1.8	2.3	1.6	-1.5	0.6
Im	2.6	4.1	5.8	3.2	0.1	3.5
Kakh	2.1	1.7	2.9	0.8	-1.7	1.6
M-M	4.5	4.0	6.6	2.1	-1.1	2.3
R-L KS	5.7	7.3	10.8	5.2	-0.3	4.3
S-ZS	3.1	2.8	4.6	1.5	-1.3	1.0
S-J	2.6	2.9	4.4	1.9	-0.5	1.4
KK	2.6	2.6	4.1	1.5	-0.1	1.5
Sh K	1.2	1.9	2.6	1.5	-0.7	2.3

As follows from Table 2 the difference between mean annual mortality in the pre-Covid-19 period $\Delta(I)$ [$M(2007-2019) - M(1994-2006)$] change from -0.4 (Tbilisi, reduction in mortality) to 5.7 (Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti, increase in mortality). In general, in Georgia the increase in the mean value of $\Delta(I)$ was 1.5.

Compared to the average mortality rate in 1994-2022, 1994-2006 and 2007-2019, in 2020-2021 the mortality rate increased both throughout Georgia and in its individual regions.

$\Delta(II) = 2.3$ (Georgia), range of change – from 1.7 (Tbilisi and Kakheti) to 7.3 (Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti).

$\Delta(\text{III}) = 3.3$ (Georgia), range of change – from 1.6 (Tbilisi) to 10.8 (Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti).

$\Delta(\text{IV}) = 1.8$ (Georgia), range of change – from 0.8 (Kakheti) to 5.2 (Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti).

The mortality rate in 2020 compared to the maximum mortality rate in 1994-2019, 2022 in Georgia as a whole has not changed. It increased only in Imereti and Adjara (by 0.1 and 0.9, respectively). In other regions, a decrease in $\Delta(\text{V})$ values was observed from -0.1 (Kvemo Kartli) to -1.8 (Tbilisi).

Mortality in 2021 compared to the maximum mortality in 1994-2019, 2022 both in Georgia as a whole and in its individual regions has increased. For Georgia, the value $\Delta(\text{VI}) = 2.6$, for its regions the range of variability is from 0.6 (Guria) to 4.3 (Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti).

Conclusion

In the future, taking into account the receipt of new data, it is planned to continue research into the influence of various natural and anthropogenic factors on the health of the population of Georgia. Particular attention will be paid to long-term forecasting of these effects on human health in connection with expected changes in these factors (for example, climate change).

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
- [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/1-0.52340/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.
- [4] Amiranashvili A., Chargazia Kh., Chikhladze V., Japaridze N., Khazaradze K. The monthly variations in mortality from the cardiovascular diseases in Tbilisi. // Georgian Medical News, No 5 (242), 2015, pp. 53-59.
- [5] 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
- [6] 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>
- [7] 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>
- [8] Khazaradze K.R., Chkhitunidze 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>
- [9] 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.
- [10] 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/10.48-614/ggs2420212884>
- [11] Amiranashvili A., Khazaradze K., Japaridze N., Revishvili A. Analysis of the Short-Term Forecast of Covid-19 Related Confirmed Cases, Deaths Cases and Infection Rates in Georgia from September 2020 to October 2021. // 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. 167 - 171.
- [12] 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>
- [13] 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>
- [14] 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>
- [15] 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.

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

•^{*}Japaridze N., •^{**}Khazaradze K., •^{***}Chkhitunidze 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 Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
njaparidze@moh.gov.ge*

Abstract: A brief overview of research conducted by M. Nodia Institute of Geophysics, TSU together with Tbilisi State Medical University and Ministry of Internally Displaced Persons from Occupied Territories, Labour, Health and Social Affairs of Georgia in the field of “Health of the Population of Georgia and Environment” over the past 10 years.

Key words: Bioclimatology, medical meteorology, environment and human health, Covid-19.

Introduction

It is known that generally, the human health is primarily affected by the lifestyle (50 – 55%), then – by the environment (25 – 30%), and finally – by heritage and medical care. Additional anthropogenic or natural (various types of geophysical disasters, epidemics, pandemics, etc.) significantly increase the level of the above risk factors of stress on the biosphere, affecting human health and life [1-4; <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200327-sitrep-67-covid-19.pdf>].

M. Nodia Institute of Geophysics, TSU for many decades, together with various medical organizations, has been conducting research into the connection of different natural and anthropogenic (meteorological, climatic, geophysical, space, anthropogenic atmospheric pollution, etc.) factors with the health of the population of Georgia. Over the past 10 years, this research has been successfully continued together with Tbilisi State Medical University and Ministry of Internally Displaced Persons from Occupied Territories, Labour, Health and Social Affairs of Georgia within the framework of the National Scientific Project "Research of natural and anthropogenic characteristics and phenomena in Georgia with the aim of creating safe ecosystems and supporting sustainable economic development" (2014-2023). As part of this program, a number of studies have also been carried out to study the bioclimatic potential of Georgia in terms of promoting the development of the resort and tourism industry.

During the Covid-19 pandemic, a number of works were carried out on statistical analysis of various components of the pandemic (infection cases, infection rate, death cases) in Georgia. A comparison was also made of the epidemiological situation in Georgia with neighboring countries and in the world. For Georgia it was regularly carried out interval forecasting of infection cases, infection rate, death cases (ten-day, two-week and monthly).

A brief overview on these researches is presented below [4-35].

Results and discussion

The meteorological, bio meteorological, bioclimatic, geophysical and other parameters, which sufficiently affect the human beings, are the followings:

Separate meteorological and geophysical elements, space weather parameters and its combinations: air temperature, humidity, wind speed, atmospheric pressure, cloud cover, solar activity (Wolf's number), the geomagnetic fields, atmospheric electricity, thunderstorms, solar radiation, the cosmic rays, radioactivity, light ions, aerosols, ozone, other air toxic admixtures and etc. [1-4, 10,13,19,21].

Different simple thermal indices involve more than one climatological parameter and consider the combined effects (air equivalent- effective temperature EET, Equivalent temperature (TEK), Wet-bulb-globe temperature (WBGT), Tourism Climate Index (TCI), Holiday Climate Index (HCI) [8,9,11,12,14-16, 22,23] and others.

Typically, these indices have a scale with corresponding categories that are easy for the population to understand ("Sharply Coldly", "Comfortably", "Warmly", "Unfavorable", "Very Good", "Ideal", etc.) [16].

The effects of the action of environmental factors on human health have different scales - from minute, hour, day, decade and month to the seasonal and annual [1-4].

For example, in the works [12] results of studying the connection of average-daily values of equivalent-effective temperature in Tbilisi with the mortality of the population of this city from the cardiovascular diseases are represented. It is obtained that the dependence of mortality on EET takes the classical form - the decrease of mortality from the gradation "Sharply Coldly" to "Comfortably" with further increase to the gradation "Warmly".

It is found [13] that the relationship between the average monthly air temperature in Kutaisi (Georgia) and such indices of the health of population as the total number of emergency medical calls, cases of hospitalizations and deaths has the form of a third power polynomial. In general, in the warm months there is a decrease of the total number of emergency medical calls, cases of hospitalizations and deaths. In the hot months, there is a worsening in these indicators of health, comparable to the cold months of the year (increase of the emergency medical calls, cases of hospitalizations and deaths). The similar results were obtained for the Kakheti region [19].

The comparative analysis of the connection of eight simple thermal indices and Tourism Climate Index (TCI) with the monthly mortality of the population of Tbilisi city apropos of cardiovascular diseases in [16] is represented. The values of simple thermal indices were calculated with the use of mean monthly and mean monthly for 13 hour data of meteorological elements. Between all studied simple thermal indices practically direct functional connection with the coefficient of linear correlation not lower than 0.86 is observed. The connection of simple thermal indices with the TCI is nonlinear and takes the form of third power polynomial. The possibility of using the standard scales and categories of the indicated indices as the bioclimatic indicator in monthly time scale is studied. As a whole, all indices adequately correspond to the degree of the bioclimatic comfort of environment for the people - with an increase in the level of comfort the mortality diminishes. Most representative for this purpose is Misenard air effective temperature in 13 hour [16].

Results of study on connection of Holiday Climate Index (HCI) and its components and components ratings with public health (on example of Tbilisi - mortality by cardiovascular deseases and Kakheti Region of Georgia - ambulance calls, hospitalization, total mortality) in [22] are presented. It is shown that, in general, all indicators adequately correspond to the degree of bioclimatic comfort of the living environment for people. In particular, the relationship between HCI and mortality in Tbilisi has the form of a second-degree polynomial, and in Kakheti - a third-degree polynomial. At the same time, with an increase in the degree of bioclimatic comfort to the category "Very good", there is a tendency for a decrease in mortality. With the transition to the "Excellent" category, there is a slight increase in mortality. A similar result for some components of the HCI and the ratings of these components was obtained. It is proposed to make adjustments in determining the degree of comfort of bioclimatic index scales for the population, taking into account local social and climatic conditions.

The results of a study of the effect of the annual changeability of air temperature, surface ozone concentration and neutron component of galactic cosmic ray intensity on the mortality of the population of Tbilisi city in 1984-2010 are presented in the work [10]. In particular, it was found that within the variation range the contribution of

the studied parameters to mortality variability is as follows: a random component of air temperature - 8.5%, real values of surface ozone concentration and cosmic ray intensity - 20.9% and 16.5%, respectively. Results of study of influence of variations of the annual intensity of neutron component of galactic cosmic rays on the mortality of the population of Georgia in 1995-2014 in [21] are presented. In particular, the previously obtained results on a direct correlation between the intensity of cosmic rays and total mortality of the population have been confirmed [10]. However, as it turned out, an increase in the intensity of cosmic rays mainly increases the mortality rate of the male part of the population of Georgia. The mortality rate of women is very weakly dependent to the galactic cosmic rays influence.

The works [7,17,20,35] present the results of a study of variations in monthly fluctuations in mortality from cardiovascular diseases in Tbilisi, the variability of mortality in Georgia and its regions in different seasons and periods of the year.

The results of work on the bioclimatic zoning of the territory of Georgia (including for assessing the bioclimatic potential of the resort and tourism industry) are presented in [5,6,8,9,11,14,15,18,22,23].

In [5] some new data about the bioclimatic characteristics (Tourism Climate Index and light ions content in air) of the village Mukhuri (Western Georgia), useful for the development of the health resort-tourist potential of this locality are represented. It is shown that for the development of mass tourism the months from March through November are favorable. The results of measurements of light ions concentration in air near the bank of river Khobistskali, in Shurubumu karstic cave and forest showed the prospect of development in the indicated locality ionotherapy. It is noted that all months of year are suitable for the therapeutic and preventive tourism.

In [6] data about equivalent-effective temperature of air (EET), content of light ions in air and chemical composition of water in Bazaleti Lake (Eastern Georgia) are represented. It is shown that in the hottest months (July, August) in Bazaleti Lake in comparison with Tbilisi the more comfortable for human health thermal conditions is observed. The content of light ions in air in Bazaleti Lake and in the limits of several hundred meters from it is above minimally necessary for the health of people, whereas in Dusheti ions concentration is less minimally necessary. The data about the chemical composition of water in the lake and in the spring, which is located in several kilometers from the lake, do not indicate the essential deflections from the standards for the drinking water.

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) in [15] are represented. The period of a study: 1961-2010. Values of ET expected according to the data of four meteorological stations of Adjara (Batumi, Kobuleti, Khulo, Goderdzi crossing) and Kakheti (Telavi, Dedoplistskaro, Kvareli, Sagarejo). 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.

Results of a statistical analysis of monthly average of the values of air effective temperature on Missenard (ET) in Batumi from 1956 to 2015 in [22] are presented. The intra-annual distribution of ET values in three time periods was studied: 1956- 1985, 1956-2015, 1986-2015; their repetition of occurrence by ET categories in the specified time periods was obtained, etc. The influence of climate change on ET values was revealed. In particular, it is shown that in 1986-2015, compared with 1956-1985, the repetition of ET values for the category "Very cold" decreased from 1.7% to 1.1%, "Cold" - decreased from 23.9% to 22.8%, "Cool" - increased from 35.0% to 35.8%, " Comfortable " - decreased from 22.2% to 17.8%, " Warm " - increased from 12.5% to 13.9%, "Hot" - increased from 4.7% to 8.6%. The results of the study can find practical application for planning the development of the resort and tourism industry in Adjara, taking into account climate change.

The importance of study of the light ions content in the atmosphere is well known. The content of light ions in the atmosphere plays important role in molding of the physiological state of population. In work [18] some results of studies of the influence of landscape on the ionizing state of air environment in different regions of Georgia in recent years carried out. The data about the content of aeroions in Tbilisi and some locations of Western

Georgia with different types of landscape (urban, forest, park, gorge, waterfalls, the coast of rivers, etc.) are represented. In particular, it is shown that even in the limits of the strongly contaminated city the landscape has vital importance for creating the medium ecologically favorable for human health (Tbilisi National Botanical Garden, territory of Tbilisi Sea, etc.). The results of work can find practical application for the development of health resort- tourist industry in Georgia.

During the Covid-19 pandemic, a number of works were carried out [25-32]. In particular, in these works results of a statistical analysis of the daily data associated with New Coronavirus Covid-19 infection of confirmed (C), recovered (R), deaths (D) and infection rate (I) cases of the population of Georgia in the period of pandemic are presented. It also presents the results of the analysis of forecasting of the values of C, D and I (decade, two weeks, monthly). The information was regularly sent to the National Center for Disease Control & Public Health of Georgia and posted on the Facebook page <https://www.facebook.com/Avtandil1948/>.

The comparison of data about C and D in Georgia with similar data in Armenia, Azerbaijan, Russia, Turkey and in the world is also carried out.

In the post-Covid-19 period, studies of the influence of various bioclimatic indices on the spread of this infection have begun and will continue [33,34].

For example, in [33] the results of a study of the influence of diurnal values of separate components of simple thermal indices (temperature and air relative humidity, wind speed) on the infection positivity rate with coronavirus COVID-19 (IR) of the population of Tbilisi from September 1, 2020 to May 31, 2021 are presented. It was found that IR values are inversely correlated with air temperature and wind speed, and positively correlated with air relative humidity. The effect of four different thermal indices (air effective temperature and Wet-Bulb-Globe-Temperature) on the IR values averaged over the scale ranges of their categories was studied. It has been found that an increase of the air effective temperature leads to a decrease of the IR values. In the latter case, the level of significance of the relationship between thermal indices and IR values is much higher than in the case of the relationship between IR and separate components of these indices.

The results of a study of the influence of diurnal values of Angstrom Fire Index (AFI, temperature and air relative humidity combination) on the infection positivity rate with coronavirus COVID-19 (IR) of the population of Tbilisi from September 1, 2020 to May 31, 2021 in [34] are presented. It was found that an increase in AFI values (reduction of fire danger) leads to an increase in IR. Thus, with the "Low" fire danger category, the IR value averaged 11.5%, and with the "Extreme" category - 3.5%. The relationship between the AFI and IR values has the form of a second power polynomial. Thus, AFI also manifests itself as a bioclimatic indicator. In the future, it is planned to compare AFI values with various indicators of human health.

Taking into account new data, an assessment was made of the effect of the Covid-19 pandemic on the mortality rate of the population of Georgia and its regions [35]. 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 mortality to 1000 population (M) 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 [35].

Conclusion

In the future, it is planned to continue joint research into the influence of various natural and anthropogenic factors on the health of the population of Georgia.

References

- [1] Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V. Photochemical smog in Tbilisi. // Monograph, Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. 63, Tb., 2012, 160 p., (in Georgian).
- [2] 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. <http://www.nato.int/science>; <http://www.springer.com>; <http://www.iospress.nl>
- [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/10.5-2340/mng.9789941334658>
- [4] 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. Javakishvili 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
- [5] Amiranashvili A.G., Bolashvili N.R., Chikhladze V.A., Japaridze N.D., Khazaradze K.R., Khazaradze R.R., Lezhava Z.L., Tsikarishvili K.D. Some New Data about the Bioclimatic Characteristics of the Village of Mukhuri (Western Georgia). // Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B, Tbilisi, 2015, pp. 107-115.
- [6] Bliadze T.G., Chikhladze V.A., Japaridze N.D., Khazaradze K.R., Khazaradze R.R., Melikadze G.I., Varamashvili N.D., Vepkhvadze S.G. Some Bioclimatic Indices of the Health Resort-Tourist Complex of Bazaleti Lake (Georgia). // Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B, 2015, pp.116-123. <https://openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/1755>
- [7] Amiranashvili A., Chargazia Kh., Chikhladze V., Japaridze N., Khazaradze K. The monthly variations in mortality from the cardiovascular diseases in Tbilisi. // Georgian Medical News, No 5 (242), 2015, pp. 53-59.
- [8] Amiranashvili A., Japaridze N., Kartvelishvili L., Khazaradze K., Khazaradze R. Tourism climate index in some locations of Georgia. Report. First Caucasus Mountain Forum: Bridging Science and Practice for Sustainability. Tbilisi, Georgia 28 November – 1 December 2016. <http://caucasus-mt.net/events/CMF>
- [9] Amiranashvili A. G., Japaridze N. D., Kartvelishvili L. G., Khazaradze R. R. Tourism Climate Index in Telavi (Eastern Georgia). The Questions of Health Resort Managing, Physiotherapy and Rehabilitation, International Collection of Scientific Articles, Vol. I, ISSN 2449-271X, Tbilisi, 2016, p. 76-81.
- [10] Amiranashvili A.G., Bakradze T. S., Berianidze N.T., Japaridze N.D., Khazaradze K.R. Effect of Mean Annual Changeability of Air Temperature, Surface Ozone Concentration and Galactic Cosmic Rays Intensity on the Mortality of Tbilisi City Population. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.19B, Tbilisi, 2016, pp. 135-143.
- [11] Amiranashvili A.G., Japaridze N.D., Kartvelishvili L.G., Khazaradze K.R., Matzarakis A., Povolotskaya N.P., Senik I.A. Tourism Climate Index of in the Some Regions of Georgia and North Caucasus. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 20B, 2017, pp. 43–64.
- [12] Khazaradze K.R. Comparative Analysis of Mean-Daily Value of Air Equivalent Effective Temperature in Tbilisi and Kojori. // Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 20B, 2017, pp. 65–72. http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/7105/1/JGGS_20B_2017_5.pdf
- [13] Amiranashvili A.G., Japaridze N.D., Kartvelishvili L.G., Khazaradze K.R., Khazaradze R.R. Effects of Variations of the Monthly Mean Air Temperature on the Population Health of Imereti Region of Georgia. International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 6, Kutaisi, Georgia, 21-22 September, 2018, pp. 38-41. http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/7278/1/Kut_2018_1.5.pdf
- [14] Amiranashvili A.G., Japaridze N.D., Kartvelishvili L.G., Khazaradze K.R., Kurdashvili L.R. Tourism Climate Index in Kutaisi (Georgia). International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 6, Kutaisi, Georgia, 21-22 September, 2018, pp. 227-230. http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/7330/1/Kut_2018_2.19.pdf
- [15] 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
- [16] 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>

- [17] 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. Javakhsishvili 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
- [18] Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V., Japaridze N. Khazaradze K. On the Influence of Landscape on the Content of Light Aeroions in Different Regions of Georgia. Proc. Intern. Multidisciplinary Conf. "Actual Problems of Landscape Sciences: Environment, Society, Politics", September 9-13, 2019, Tbilisi, Georgia, ISBN 978-9941-13-868-3, Tbilisi, 2019, pp. 117-121, http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/8597/1/Amiranashvili%20etc._Act_Probl_Lands_Science_2019.pdf
- [19] 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>
- [20] Khazaradze K.R., Chkhitunidze 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>
- [21] 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. 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. Javakhsishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 163 - 166.
- [22] 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>
- [23] Amiranashvili A., Japaridze N., Kartvelishvili L., Khazaradze K., Revishvili A. Changeability the Monthly Mean Values of Air Effective Temperature on Missenard in Batumi 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. 25(2), 2022, pp. 49-58. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2520225960>
- [24] Amiranashvili A.G., Khazaradze K.R., Japaridze N.D. Twenty weeks of the pandemic of coronavirus Covid-19 in Georgia and neighboring countries (Armenia, Azerbaijan, Turkey, Russia). Preliminary comparative statistical data analysis. // Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 364-370.
- [25] Amiranashvili A.G., Khazaradze K.R., Japaridze N.D. Analysis of twenty-week time-series of confirmed cases of New Coronavirus COVID-19 and their simple short-term prediction for Georgia and neighboring countries (Armenia, Azerbaijan, Turkey, Russia) in amid of a global pandemic. // medRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2020.09.09.20191494>, 2020, 13 p. Europe PMC, <https://europepmc.org/article/ppr/ppr213467>
- [26] 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 Short-Term Interval Prediction from September 2020 to February 2021. // medRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2021.04.01.21254448>, 2021, 18 p.
- [27] 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 Short-Term Interval Prediction in Spring 2021. // medRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2021.06.16.21259038>, 2021.
- [28] 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 Two-Week Interval Prediction in Summer 2021. // medRxiv preprint, 2021, doi: <https://doi.org/10.1101/2021.09.08.21263265>, 2021, 20 p
- [29] Amiranashvili A., Khazaradze K., Japaridze N., Revishvili A. Analysis of the Short-Term Forecast of Covid-19 Related Confirmed Cases, Deaths Cases and Infection Rates in Georgia from September 2020 to October 2021. // 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. Javakhsishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 167 - 171.
- [30] 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 September 1, 2021 to December 31, 2021. 22 p. // Europe PMC plus. Preprint from medRxiv, 16 Jan 2022, DOI: 10.1101/2022.01.16.22269373, PPR: PPR443384
- [31] 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, 21 Apr 2022, medRxiv 2022.04.19.22274044; doi: <https://doi.org/10.1101/2022.04.19.22274044>
- [32] 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>

- [33] 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>
- [34] 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.
- [35] Japaridze N., Khazaradze K., Chkhitunidze 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.

კოვიდ-19 პანდემიით გამოწვეული სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობის დანაკარგები საქართველოში

მელაძე გ.

*ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, საქართველო
Meladzeg@gmail.com*

ანოტაცია. ევროპის მასშტაბით სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობის მაჩვენებლები საქართველოში ერთ-ერთი ყველაზე დაბალია. კოვიდ-19 პანდემიის შედეგად, საქართველოში მნიშვნელოვნად შემცირდა მოსახლეობის სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა. განსაკუთრებით მასშტაბური იყო სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობის დანაკარგები 2019-2021 წლებში. აღნიშნული დანაკარგების აღმოფხვრა და სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობის გაზრდა ქვეყნის ჯანდაცვის სისტემისათვის მნიშვნელოვან გამოწვევას წარმოადგენს.

საკვანძო სიტყვები: კოვიდ-19, პანდემია, სიცოცხლის ხანგრძლივობა, საქართველო.

კოვიდ-19-ის პირველი შემთხვევა ჩინეთში, ჰუბეის პროვინციის ქალაქ ვუჰანში, 2019 წლის 12 დეკემბერს გამოვლინდა [1]. საქართველოში კორონავირუსის პირველი შემთხვევა 2020 წლის 26 თებერვალს დაფიქსირდა [2]. ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციამ (WHO) 2020 წლის 11 მარტს ახალი კორონავირუსის (COVID-19) გავრცელება გლობალურ პანდემიად გამოაცხადა [3].

საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახურის მონაცემების თანახმად 2020-2022 წლებში აღნიშნული ვირუსის შედეგად ლეტალური შემთხვევების რაოდენობამ 16.5 ათასი შეადგინა. მ. შ. 8.0 ათასი მამაკაცი და 8.5 ათასი ქალი. 2016 წლიდან საქართველოში სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა მუდმივად მატულობდა. 2019 წელს მისმა მაჩვენებელმა 74.1 წელი შეადგინა (კაცებში 69.8 წელი, ქალებში 78.4 წელი), რაც 1990-წლის შემდგომ ყველაზე მაღალი მაჩვენებელი იყო. 2020 წელს ქვეყანაში კოვიდ-19 ვირუსის გავრცელების შედეგად, 2019-2021 წლებში მისი მნიშვნელობა მკვეთრად - 2,7 წლით შემცირდა (მამაკაცებში 2,3, ხოლო ქალებში 3,0 წლით). 2022 წელს პანდემიის შედარებით შესუსტების შედეგად სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა გაიზარდა, თუმცა მას არ მიუღწევია 2019 წლის დონისათვის.

კოვიდ-19-ით გარდაცვალებათა ყველაზე დიდი რაოდენობა 2021 წელს დაფიქსირდა (იხ. ცხრილი 1), 11.3 ათასი (მ.შ. 5.2 ათასი მამაკაცი და 6.1 ათასი ქალი), რაც მნიშვნელოვან დემოგრაფიულ დანაკარგებს წარმოადგენს. სამეცნიერო თვალსაზრისით საინტერესოა გავარკვიოთ, 2021 წელს რამდენი იქნებოდა მოსალოდნელი სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა საქართველოში, კორონავირუსის არ არსებობის შემთხვევაში. აღნიშნული დაშვების თანახმად ჩვენი გაანგარიშებით ორივე სქესის მიხედვით აღნიშნული მაჩვენებელი 74.6 წლის ტოლი უნდა ყოფილიყო, მამაკაცებში და ქალებში შესაბამისად 69.4 და 77.9 წელი (იხ. ცხრილი 1). როგორც ვხედავთ ქვეყნის მასშტაბით განსხვავებამ 3.2 წელი შეადგინა, ხოლო მამაკაცებისა და ქალების შემთხვევაში შესაბამისად 1.9 და 2.5 წელი.

ცხრილი 1. სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა საქართველოში და კოვიდ-19-ით გამოწვეული დანაკარგები 2019-2022 წლებში.

	სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა*			სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა კოვიდ-19-ის არ არსებობის შემთხვევაში**			კოვიდ 19-ით გამოწვეული დანაკარგები (წლები)		
	ორივე სქესი	მამაკაცები	ქალები	ორივე სქესი	მამაკაცები	ქალები	ორივე სქესი	მამაკაცები	ქალები
2019	74.1	69.8	78.4	-	-	-	-	-	-
2020	73.4	69.1	77.7	73.9	69.6	78.1	-0.5	-0.5	-0.4
2021	71.4	67.5	75.4	74.6	69.4	77.9	-3.2	-1.9	-2.5
2022	73.7	69.4	78.1	74.2	69.8	78.6	-0.5	-0.4	-0.5

*ოფიციალური მონაცემები.

**განგარიშებულია ავტორის მიერ.

წყარო: საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახური.

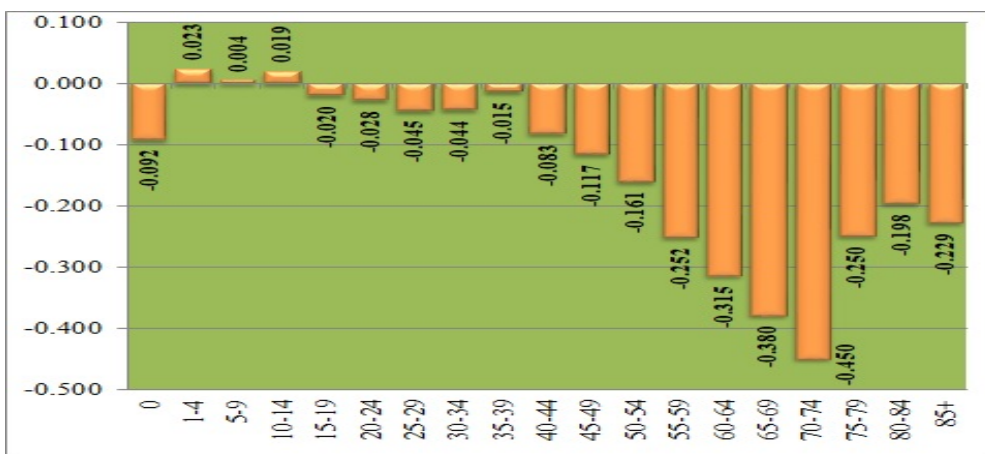
როგორც აღვნიშნეთ, 2019-2021 წლებში საქართველოში კოვიდ-19 პანდემიის შედეგად მნიშვნელოვნად შემცირდა სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა. სამეცნიერო თვალსაზრისით მნიშვნელოვანია გავარკვიოთ, აღნიშნული დროის მონაკვეთში. დაფიქსირებულ სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობის კლებაში, თუ რომელმა ასაკობრივმა ჯგუფმა რა „წვლილი“ შეიტანა. აღნიშნული საკითხის გასაანალიზებლად გამოვიყენებთ დემოგრაფიულ მეცნიერებაში აპრობირებულ – დეკომპოზიციის მეთოდს [4]. განგარიშებებისათვის გამოყენებულ იქნა ფორმულა, რომელსაც შემდეგი სახე აქვს:

$$n(\Delta)x = \frac{l_x^1}{l_0^1} * \left(\frac{nL_{x+n}^2}{l_x^2} - \frac{nL_x^1}{l_x^1} \right) + \frac{T_{x+n}^2}{l_0^2} * \left(\frac{l_x^1}{l_x^1} - \frac{l_{x+n}^1}{l_{x+n}^1} \right)$$

სადაც:

X – ასაკი; l_x – ახალდაბადებულთაგან X ასაკამდე მიღწეულთა რაოდენობა; L_x – ცოცხლადყოფთა რიცხვი ასაკობრივ ინტერვალში X-დან X+n-მდე ($n=1$ ან $n=5$); T_x – ადამიანთ-წლების რიცხვი, რომელიც მოსალოდნელია, რომ იცოცხლოს დაბადებულთა მოცემულმა თაობამ X და უფროს ასაკში.

განგარიშებებმა გვიჩვენეს (ნახ. 1), რომ სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობის



ნახ. 1. სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობის ცვლილება საქართველოში ცალკეული ასაკობრივი ჯგუფების მიხედვით 2019-2021 წლებში.

წყარო: განგარიშებულია ავტორის მიერ, საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახურის მონაცემების საფუძველზე.

ყველაზე დიდი მასშტაბის კლება 60 წლიდან 75 წლამდე ასაკის ადამიანებში (-1.145 წელი) აღინიშნა. ასევე მნიშვნელოვანი კლება დაფიქსირდა 45-დან 60 წლამდე (-0.529 წელი) და 75 წლის და უფროსი ასაკის ადამიანებში (-0.677 წელი). განხილული მასალებიდან ჩანს რომ პანდემიის გამო ლეტალური

შედეგების მაღალი მასშტაბით უმთავრესად საშუალო და მაღალი ასაკის ადამიანების ჯგუფები გამოირჩეოდნენ, რაც მოსალოდნელი სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობის მაჩვენებლებში შესაბამისად აისახა.

ოფიციალური სტატისტიკური მონაცემების თანახმად, 2022 წელს სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობამ საქართველოში 73.7 წელი შეადგინა, მამაკაცებში და ქალებში შესაბამისად 69.4 და 78.1 წელი.

ლიტერატურა

- [1] Gralinski L.E, Menachery V.D. Return of the coronavirus: 2019-nCoV, 2020. // Viruses 12:135. doi: 10.3390/v12020135. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31991541/> <https://www.mdpi.com/1999-4915/12/2/135>
- [2] მამულაძე ნ., აბსანძე თ. როგორ ებრძვის მსოფლიო კორონავირუსის (COVID 19) პანდემიას.// თბილისი, 2020, გვ. 7.
- [3] Cucinotta D., Vanelli M. // 91(1), 2020 pp. 157–160, Published online 2020 Mar 19, doi:10.23750/abm.v9i1i1.9397 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7569573/>
- [4] Preston S.H., Heuveline P., Guillot M. Demography. Measuring and modelling population processes, 2001, pp. 64-65.

LOSSES IN LIFE EXPECTANCY DUE TO THE COVID-19 PANDEMIC IN GEORGIA

Meladze G.

*Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
Meladzeg@gmail.com*

Abstract. The average life expectancy in Georgia is one of the lowest in Europe. The first case of coronavirus in Georgia was recorded on February 26, 2020. As a result of the pandemic, the average life expectancy of the population in Georgia has decreased significantly.

Since 2016, the average life expectancy in Georgia has been constantly increasing. In 2019, its rate was 74.1 years (men 69.8 years, women 78.4 years), which was the highest rate since 1990. As a result of the spread of the Covid-19 virus in the country in 2020, in 2019-2021 its value decreased sharply - by 2.7 years (2.3 years for men and 3.0 years for women). In 2022, as a result of the relative weakening of the pandemic, life expectancy increased, although it did not reach the level of 2019.

Eliminating the mentioned losses and increasing the life expectancy is an important challenge for the country's healthcare system.

Keywords: COVID-19, pandemic, life expectancy, Georgia.

საქართველოში სეტყვასაწინააღმდეგო სამუშაოების მოკლე მიმოხილვა

****კაჭარავა გ., **ბერულავა ნ., **მოდრეკელიძე მ., *კეკელიძე ე., *გელოვანი გ.**

**სახელმწიფო სამხედრო სამეცნიერო-ტექნიკური ცენტრი „დელტა“, თბილისი, საქართველო
**ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო
giorgi.katcharava301@ens.tsu.edu.ge*

ანოტაცია. მოყვანილია კახეთის რეგიონში სეტყვასაწინააღმდეგო სამუშაოების შემდეგ, განვითარებული სეტყვის პროცესები, წინა წლების სტატისტიკური მონაცემები, გაკეთებულია გარკვეული დასკვნები

საკვანძო სიტყვები: სეტყვა, სეტყვის პროცესი, აქტიური ზემოქმედება, დასაცავი ტერიტორია.

შესავალი

ატმოსფერულ მოვლენებზე აქტიური ზემოქმედება, ჩვენი ქვეყნისთვის, პრაქტიკული კუთხით, ძალიან მნიშვნელოვანია.

1961 წლიდან საქართველოში შეიქმნა სეტყვასთან ბრძოლის სამსახური, რასაც წინ უძღოდა თითქმის ათწლიანი კვლევები სეტყვასაშიში პროცესებისა და სეტყვისგან დაცვის შესაძლო ღონისძიებათა შესახებ. საბჭოთა კავშირის დაშლამ გამოიწვია ზემოთ ხსენებული სამსახურის გაუქმება [1-6].

2015 წელს სახელმწიფო სამხედრო სამეცნიერო ტექნიკური ცენტრის „დელტა“-ს ბაზაზე დაარსდა სეტყვის საწინააღმდეგო სისტემების მართვის დეპარტამენტი [7-10]. მისი მუშაობა ეფუძნება მეთოდის [11]. აღსანიშნავია, რომ ჩვენთან გამოიყენება სრულიად კომპიუტერიზებული სარაკეტო სისტემა, მეტეოინფორმაციისთვის გამოიყენება თანამედროვე გერმანული წარმოების მაღალტექნოლოგიური მეტეოროლოგიური რადიოლოკატორი, METEOR 735 CDP 10-Doppler Weather Radar, რომელიც ამომწურავ და დეტალურ ინფორმაციას გვაწვდის დრუბლების პარამეტრების შესახებ [2,7,8].

რეგულარულად ტარდებოდა განახლებული სეტყვასაწინააღმდეგო სამსახურის მუშაობის შედეგების განხილვა და ანალიზი. 2015-2020 წწ. კვლევების შედეგები გამოქვეყნებულია ნაშრომებში [11-15]. ეს სამუშაო წარმოადგენს წინა წლებში ჩატარებული კვლევების გაგრძელებას.

შედეგები

XX-ის 60-იანი წლებიდან სეტყვისგან მიყენებული ზარალი შემცირდა დაცვამდე მრავალწლიურ მონაცემებთან შედარებით 70-80%-ით.

წარმოდგენილ სტატიაში ჩვენ შევეცადეთ გაგვეკეთებინა 2016-2022 წლების მონაცემების სისტემატიზირება, შეჯამება და შედარებითი ანალიზი. აგრეთვე, შედარებისთვის, ავიღეთ 80-იანი წლების რამდენიმე მონაცემი. საშუალოდ 2016-2022 წლებში სეზონზე იყო 47 დღე, როდესაც საჭირო გახდა სეტყვასაშიშ დრუბლებზე აქტიური ზემოქმედება. ამასთან ასეთი დღეების მინიმალური რაოდენობა დაფიქსირდა 2016 წელს (37 დღე), მაქსიმალური 2021 წელს (57 დღე). დამუშავებული კონვექტიური უჯრედების (კუ) რაოდენობა 2016-2022 წლებში, საშუალოდ შეადგენდა 214, ამასთან ყველაზე ნაკლები (174 კუ) დასამუშავებელი კონვექტიური უჯრედი დაფიქსირდა 2019 წელს, ხოლო ყველაზე მეტი - 2017 წელს (274 კუ).

2016-2022 წლებში, დაზიანების სხვადასხვა პროცენტით საშუალოდ ზიანდებოდა 7039 ჰა ფართობი (დაცული ტერიტორიის დაახლოებით 1,24%), ხოლო 100%-ზე დაყვანით-3340 ჰა. (რაც დასაცავი ტერიტორიის 0,6 %-ს შეადგენს).

დასაცავი ტერიტორიების საერთო ფართობი 2017 წლის მონაცემებით შეადგენდა 568000 ჰა-ს, მათ შორის სასოფლო-სამეურნეო-სავარგულების ფართობია 256800 ჰა. (მთლიანი ფართობის 45%), სათიბ-სამოვრების საერთო ფართობი კი 308800, რაც საერთო ფართობის 55%-ია. დასაცავ ტერიტორიაზე დაფიქსირდა მყარი ნალექის (სეტყვა, ხორხოშელა) და თანმხვედრი მოვლენების (ქარიშხალი, ძლიერი თქეში) მოსვლის 14 შემთხვევა. სტიქიისგან დაზიანებულმა სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების საერთო ფართობმა შეადგინა 8924 ჰა დაზიანების სხვადასხვა პროცენტით. დაზიანების 100%-ზე დაყვანილი ფართობია 3508 ჰა, რაც შეადგენს სავარგულების საერთო ფართობის (სათიბ-სამოვრებთან ერთად) 1,6%-ს, ხოლო სათიბ-სამოვრების გარეშე 3,4%-ს.

დასაცავი ტერიტორიების საერთო ფართობი 2018 წლის მონაცემებით შეადგენდა 565785 ჰა-ს (სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების ფართობი 257005 ჰა), რაც დასაცავი ტერიტორიის 45,4%-ია, სათიბ-სამოვრების საერთო ფართობი იყო 308780 ჰა, რაც საერთო ფართობის 54,6%-ია 6 ადმინისტრაციულ ერთეულში დაფიქსირდა მყარი ნალექის (სეტყვა, ხორხოშელა) მოსვლის 11 შემთხვევა. სტიქიისგან დაზიანებულმა სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების საერთო ფართობმა შეადგინა 4360 ჰა დაზიანების სხვადასხვა პროცენტით, რაც შეადგენს დასაცავი ტერიტორიის მთლიანი ფართობის 0,8%-ს, ხოლო სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების 1,7%-ს. დაზიანების 100%-ზე დაყვანილი ფართობია 2039 ჰა, რაც შეადგენს დასაცავი ტერიტორიის მთლიანი ფართობის 0,4%-ს, ხოლო სავარგულების მთლიანი ფართობის 0,8%-ს.

2019 წლის მონაცემებით საერთო ფართობი შეადგენდა 570000 ჰა-ს. მათ შორის სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების ფართობი 268000 ჰა, რაც საერთო ფართობის 47%-ია ხოლო, სათიბ-სამოვრები კი შეადგენდა 301600 ჰა-ს (53%). დასაცავი ტერიტორიის ყველა (ახმეტა, თელავი, ყვარელი, ლაგოდეხი, საგარეჯო, გურჯაანი, სიღნაღი და დედოფლისწყარო) ადმინისტრაციულ ერთეულში აღინიშნა მყარი ნალექი. მთლიანობაში 53-ჯერ საჭირო გახდა აქტიური ზემოქმედების ჩატარება (ჯამში დამუშავდა 174 კუ). 10-ჯერ დაფიქსირდა სეტყვის მოსვლა, 43 შემთხვევაში სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები არ დაზიანებულა. 10 კი შემთხვევაში 7 მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე დაზიანდა 7916 ჰა, სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების დაზიანების სხვადასხვა პროცენტით, დაზიანების 100%-ზე დაყვანილი ფართობი შეადგენდა 2690 ჰა-ს.

2016-2022 წლებში საშუალოდ წელიწადში იყო 37 სეტყვიანი დღე, აქედან 10,4 შემთხვევაში დაფიქსირდა სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების ნათესების, ბაღ-ვენახების და ა.შ. სეტყვისგან დაზიანება.

დასკვნა

მომავალში დაგეგმილია ამ სამუშაოების გაგრძელება სეტყვის საწინააღმდეგო სისტემების მართვის დეპარტამენტის საქმიანობის გასაუმჯობესებლად.

ლიტერატურა

- [1] Amiranashvili A. History of Active Effects on Atmospheric Processes in Georgia. // In the book: Essays of the History of Weather Modification in the USSR and the Post-Soviet Territory, ISBN 978-5-86813-450-0, St. Petersburg, RSHMU, 2017, 352 pp., ill., pp. 234-254, (in Russian), <http://mig-journal.ru/toauthor?id=4644>
- [2] Amiranashvili A., Chikhladze V., Dzodzuashvili U., Ghlonti N., Sauri I., Teli 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. Javakishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp. 216-222, <http://dSPACE.gela.org.ge/handle/123456789/8613>
- [3] Amiranashvili A., Dzodzuashvili U., Lomtadze J., Sauri I., Chikhladze V. Some characteristics of hail processes in Kakheti. // Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, vol. 65, ISSN 1512-1135, Tb., 2015, pp. 77-100, (in Russian).
- [4] Amiranashvili A., Kveselava N., Ghlonti N., Chikhladze V., Tsintsadze T. History of Active Actions on the Natural Phenomena in Georgia. // Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 147-152, (in Georgian). http://www.dSPACE.gela.org.ge/bitstream/123456789/8797/1/Eco_2020_3.21.pdf
- [5] 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/10.523-40/mng.9789941334658>

- [6] 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.2.2.12474.5728
- [7] Amiranashvili A., Chikhladze V., Dzodzuashvili U., Ghlonti N., Sauri I. Reconstruction of anti-hail system in Kakheti (Georgia). // Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. physics of atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 18B, 2015, p.92-106.
- [8] Amiranashvili A., Burnadze A., Dvalishvili K., Gelovani G., Glonti N., Dzodzuashvili U., Kaishauri M., Kveselava N., Lomtadze J., Osepashvili A., Sauri I., Telia S., Chargazia Kh., Chikhladze V. Resumption of work to combat hail in Kakheti. // Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, vol. 66, ISSN 1512-1135, Tb., 2016, p. 14-27, (in Russian).
- [9] Sauri I., Shavlakadze Sh., Chikhladze V. Contemporary Anti-Hail Rockets. // Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 157-161, (in Georgian).
- [10] Chikhladze V. Modern Rockets for Impact on Hail Processes. // Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. LXXIII, 2021, pp. 75-95, (in Russian).
- [15] Abshaev A., Abshaev ., Barekova M., Malkarova A. Guidelines for organizing and carrying out anti-hail work. // ISBN 978-5-905770-54-8, Nalchik, "Printing Yard", 2014, 500 p.
- [12] Amiranashvili A., Kveselava N., Kvilitaia N., Sauri I., Shavlakadze Sh., Chikhladze V. Some Results of Anti-Hail Works in Kakheti into 2016-2020. // Trans. of M. Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. LXXII, Tbilisi, 2020, pp. 123-128. (in Georgian). http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/8934/1/15_Tr_72_2020.pdf
- [13] Amiranashvili A., Chikhladze V., Kveselava N., Kvilitaia N., Sauri I., Shavlakadze Sh. Some Characteristics of Hail Processes in Kakheti (Georgia) According to Radar Observations into 2016-2019. // Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 23(2), 2020, pp. 50 – 56. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2320202729>
- [14] Amiranashvili A., Chikhladze V., Kveselava N., Sauri I. Some Results of Anti-Hail Works in Kakheti into 2016-2019. // Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 153-156. <http://www.dspace.gela.org.ge/handle/123456789/8798>
- [15] Amiranashvili A., Liev K., Kveselava N., Chikhladze V. Comparative analysis of the results of anti-hail works in Kakheti (Georgia) and the North Caucasus (Russia) in 2016-2020. // All-Russian open conference on the physics of clouds and active influences on hydrometeorological processes. Reports, ISBN 978-5-907150-93-5, Nalchik, September 8-10, 2021, p. 400 – 404.

BRIEF OVERVIEW OF ANTI-HAIL WORKS IN GEORGIA

***Katcharava G., ***Berulava N., ***Modrekelidze M., *Kekenadze E., *Gelovani G.

**State Military Scientific and Technical Center "Delta", Tbilisi, Georgia*

*** Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*

giorgi.katcharava301@ens.tsu.edu.ge

Abstract. The hail processes developed after the anti-hail works in Georgia, in particular in the Kakheti region, are cited. Compared to the statistical data of previous years, certain conclusions have been made

Key words: hail, hail process, active impact, protected area.

**გლობალური დათბობის პირობებში თბილისის ზამთრის რეჟიმის განსაზღვრელი
პარამეტრები და მათი განსაზღვრის სიზუსტე**

თავართქილაძე კ., ბოლაშვილი ნ.

ვახუშტი ბაგრატიონის გეოგრაფიის ინსტიტუტი, თსუ, თბილისი, საქართველო
nana.bolashvili@gmail.com

ანოტაცია. განხილულია ზამთრის სეზონის დამახასიათებელი ცხრა პარამეტრის: დღე-ღამის საშუალო ტემპერატურის, ყინვიანი დღე-ღამეების საშუალო ტემპერატურის, ყინვიანი დღე-ღამეების რაოდენობის, ყინვიანი დღე-ღამეების ტემპერატურათა ჯამის, ყინვიანი დღე-ღამეების მინიმალური ტემპერატურის, გადაბმული ყინვიანი დღეების მაქსიმალური რაოდენობის, გადაბმული ყინვიანი დღეების ტემპერატურების ჯამის, ყინვიანი დღეებიდან მინიმალური ტემპერატურის დადგომის თარიღის და გადაბმული ყინვიანი დღეებიდან პირველი დღის თარიღის ცვლილება გლობალური დათბობის პერიოდში და მათი განსაზღვრის სიზუსტე.

საკვანძო სიტყვები: ჰავა, ჰავის ცვლილება, რეჟიმული სტრუქტურა

დედამიწის გლობალური ჰავის თანამედროვე ცვლილების განსაზღვრა ჯერჯერობით შესაძლებელია მხოლოდ თეორიულად, კერძოდ, ენერგო-ბალანსური მოდელის აგებით. ამის ძირითადი მიზეზია ჰავის განსაზღვრელ ძირითად პარამეტრებზე ხანგრძლივი (რამოდენიმე ათწლეულის) ემპირიული მონაცემები, რომელთა საშუალებით დედამიწის გლობალური ჰავის სტაბილურობა ან ცვლილება შეიძლება დადგინდეს, დედამიწის ზედაპირის მხოლოდ ერთ მეათედზე ნაკლები ტერიტორიისთვისაა ცნობილი. თუ გავითვალისწინებთ, რომ რეგიონების მიხედვით ტემპერატურის ცვლილება საოცრად არათანაბარია (ზოგან აცივებასაც აქვს ადგილი) გასაგებია, რომ ასეთ პირობებში დედამიწის ერთი მეათედის ტემპერატურა ვერ დაახასიათებს ჰავის გლობალურ ცვლილებას. რაც შეეხება დედამიწის (ატმოსფეროსთან ერთად) ენერგო-ბალანსური მოდელის აგების შესაძლებლობას იძლევა ის გარემოება, რომ ვაკუუმში მოთავსებული დედამიწის ენერგეტიკული სისტემა მხოლოდ მზის სხივური ენერჯის ხარჯზე ყალიბდება და ჰავის პარამეტრებს ძირითადად ეს ენერჯია განაპირობებს.

ამრიგად, ენერგო-ბალანსური მოდელი განსაზღვრავს რა დედამიწის ენერგეტიკულ პოტენციალს, ანუ მიღებული და გაცემული ენერჯიების თანაფარდობას, აყალიბებს გლობალურ ჰავას.

ენერგეტიკული პოტენციალი გარდა მზის სხივური ენერჯიის ინტენსიურობისა, დამოკიდებულია ატმოსფეროს გაზურ შემადგენლობაზე და ქვეფენილი ზედაპირის მიერ სხივური ენერჯიის შთანთქმის უნარზე. ენერგეტიკული პოტენციალის მდგრადი წონასწორობის დროს გლობალური ჰავა უცვლელია. არამდგრადი წონასწორობის პირობებში გლობალური ჰავა განიცდის აცივებას ან დათბობას.

რეგიონული ჰავის ცვლილების განსაზღვრა ისეთივე გზით, როგორც გლობალური ჰავის განსაზღვრა ხდება, შეუძლებელია. რადგან იგი იზოლირებულ სისტემას არ წარმოადგენს და მასზე გავლენას მეზობელი რეგიონები ახდენენ. მათი გავლენის დადგენა კი ურთულესი ამოცანაა. რეგიონული ჰავის დადგენა მხოლოდ ემპირიული გზითაა შესაძლებელი. ამჟამად, გამოიყენება რა ხანგრძლივი პერიოდის, კერძოდ რამოდენიმე ათწლეულის მიწისპირული ტემპერატურის ემპირიული მონაცემები, რამდენადაც ძვენთვის ცნობილია, რეგიონული ჰავის ცვლილების განსაზღვრა ოთხი განსხვავებული გზით წარმოებს:

1. ხანგრძლივი (რამდენიმე ათწლეულის) ემპირიული მონაცემების საშუალო გეოგრაფიული პერიოდიდან მესამე და პირველი პერიოდების საშუალო ტემპერატურათა სხვაობით (ე.წ. „სხვაობის“ მეთოდი);
2. წრფივი მიახლოებით, რომელიც დაფუძნებულია დინამიური ნორმის [1] განსაზღვრაზე;

3. ციკლური მიახლოებით, სადაც გათვალისწინებულია მზის სხივური ენერჯის პერიოდული ცვალებადობა;

4. არაწრფივი მიახლოებით, როცა ტემპერატურის დროში ცვლილების მოდელირება ხდება მაღალი რიგის პოლინომით.

რეგიონალური, მიწისპირული ტემპერატურული ველის ცვლილების თუ სტაბილურობის შესაფასებლად ვიღებთ ტემპერატურული ველის დამახასიათებელ ცხრა პარამეტრს (იხ. ქვემოთ), განვსაზღვრავთ მათი ალბათობების სიმკვრივეებს (რითაც ცალსახად ხასიათდება მათი რეჟიმული სტრუქტურა) და აღნიშნული ოთხი მეთოდით ვადგენთ მათი გამოთვლის სიზუსტეს. ეს პარამეტრებია:

1. დღე-ღამის საშუალო ტემპერატურა (T_v °C);
2. ყინვიანი დღე-ღამეების საშუალო ტემპერატურა (T_u °C);
3. ყინვიანი დღე-ღამეების რაოდენობა (T_{un} დღე);
4. ყინვიანი დღე-ღამეების ტემპერატურათა ჯამი (T_{us} °C);
5. ყინვიანი დღე-ღამეების მინიმალური ტემპერატურა (T_{um} °C);
6. გადაბმული ყინვიანი დღეების მაქსიმალური რაოდენობა (T_{ugn} დღე);
7. გადაბმული ყინვიანი დღეების ტემპერატურების ჯამი (T_{ugs} °C);
8. ყინვიანი დღეებიდან მინიმალური ტემპერატურის დადგომის თარიღი (T_{umd} რიცხვი, თვე);
9. გადაბმული ყინვიანი დღეებიდან პირველი დღის თარიღი (T_{ugd} რიცხვი, თვე).

წინამდებარე ნაშრომში შედარებულია აღნიშნული ოთხი მეთოდით მიღებული ტემპერატურული ველის ცვლილებების შედეგები საქართველოს პირობებში. კერძოდ, შედარება ჩატარებულია თბილისის 1881-2018 წლების ზამთრის სეზონის (დეკემბერი-იანვარი-თებერვალი) დღე-ღამის საშუალო მიწისპირული ტემპერატურის ემპირიული მონაცემების მაგალითზე. ასოცდათვრამეტი წლის ყოველ-დღიური მონაცემების კრიტიკული ანალიზი და შემთხვევით გამოტოვებული დაკვირვებების შევსება ჩატარებულია შემთხვევითი ფუნქციის ბუნებრივ-ორთოგონალურ მდგენელებად დაშლის მეთოდით [2,3,4]. ზამთრის სეზონი აღებულია იმიტომ, რომ საქართველოში ჰავის ცვლილების შედეგები ზამთრის პერიოდში უფრო მკვეთრადაა გამოხატული ვიდრე წლის განმავლობაში და, რაც მთავარია, ზამთრის სეზონს აქვს ყინვიანი პერიოდი, რომლითაც ექსტრემალური გადახრები შეიძლება დახასიათდეს და იგი უკეთ ახასიათებს ჰავის ცვლილებას ვიდრე წლის საშუალო ტემპერატურა.

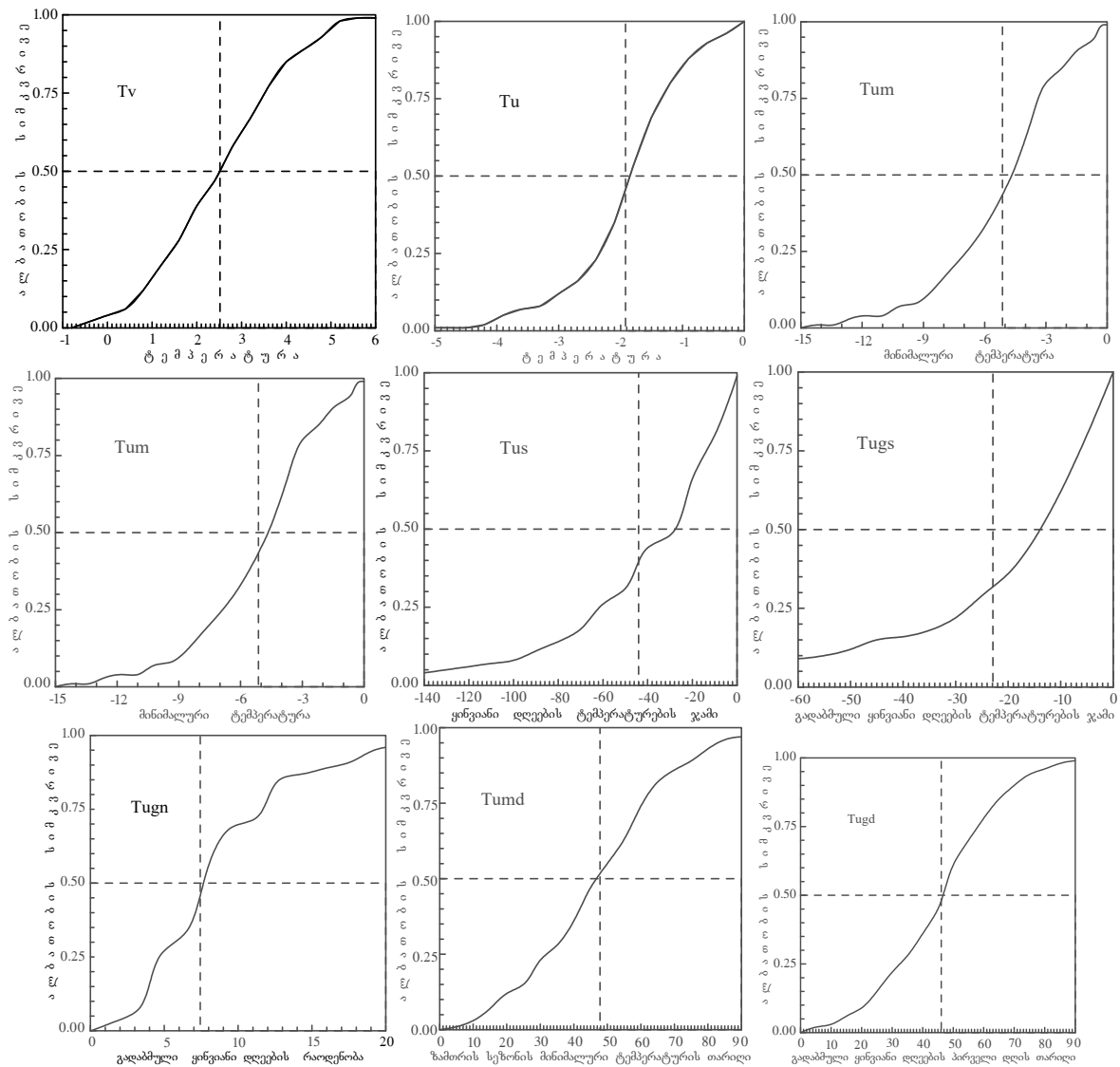
იმის დასადგენად, რომ ყოველი პარამეტრი ჰავის ცვლილების თუნდაც მცირე, მაგრამ სხვებისგან განსხვავებით რაიმე შედეგს აღრიცხავს, აგებულია აღნიშნული პარამეტრების ავტოკორელაციური მატრიცა.

ცხრილი 1. ზამთრის სეზონის ტემპერატურული რეჟიმის განმსაზღვრელი პარამეტრების ავტოკორელაციური მატრიცა თბილისის 1881-2018 წლების მიწისპირული ტემპერატურის ემპირიული მონაცემების მიხედვით

	T_v	T_u	T_{un}	T_{us}	T_{um}	T_{ugn}	T_{ugs}	T_{umd}	T_{ugd}
T_v	1	0.72	-0.91	0.83	0.77	-0.72	0.68	-0.13	0.05
T_u		1	-0.72	0.87	0.91	-0.73	0.82	0.05	-0.09
T_{un}			1	-0.89	-0.76	0.82	-0.72	0.05	-0.09
T_{us}				1	0.84	-0.85	0.90	-0.01	0.16
T_{um}					1	-0.68	0.77	-0.05	0.09
T_{ugn}						1	-0.89	-0.01	-0.18
T_{ugs}							1	0.02	0.19
T_{umd}								1	0.54
T_{ugd}									1

როგორც მატრიცა გვიჩვენებს, ყოველ პარამეტრს შეიძლება მცირე, მაგრამ სხვებისაგან განსხვავებული ინფორმაციის მოცემა შეუძლია.

ყოველი პარამეტრის გამოთვლილი ალბათობის სიმკვრივე მოცემულია ნახ.1-ზე. ვერტიკალური ღერძები განსაზღვრავენ ალბათობის სიმკვრივეს. ხოლო, ჰორიზონტალური ღერძები იძლევიან ყოველი პარამეტრის შესაძლო დიაპაზონებს მოსალოდნელი ალბათობებით.

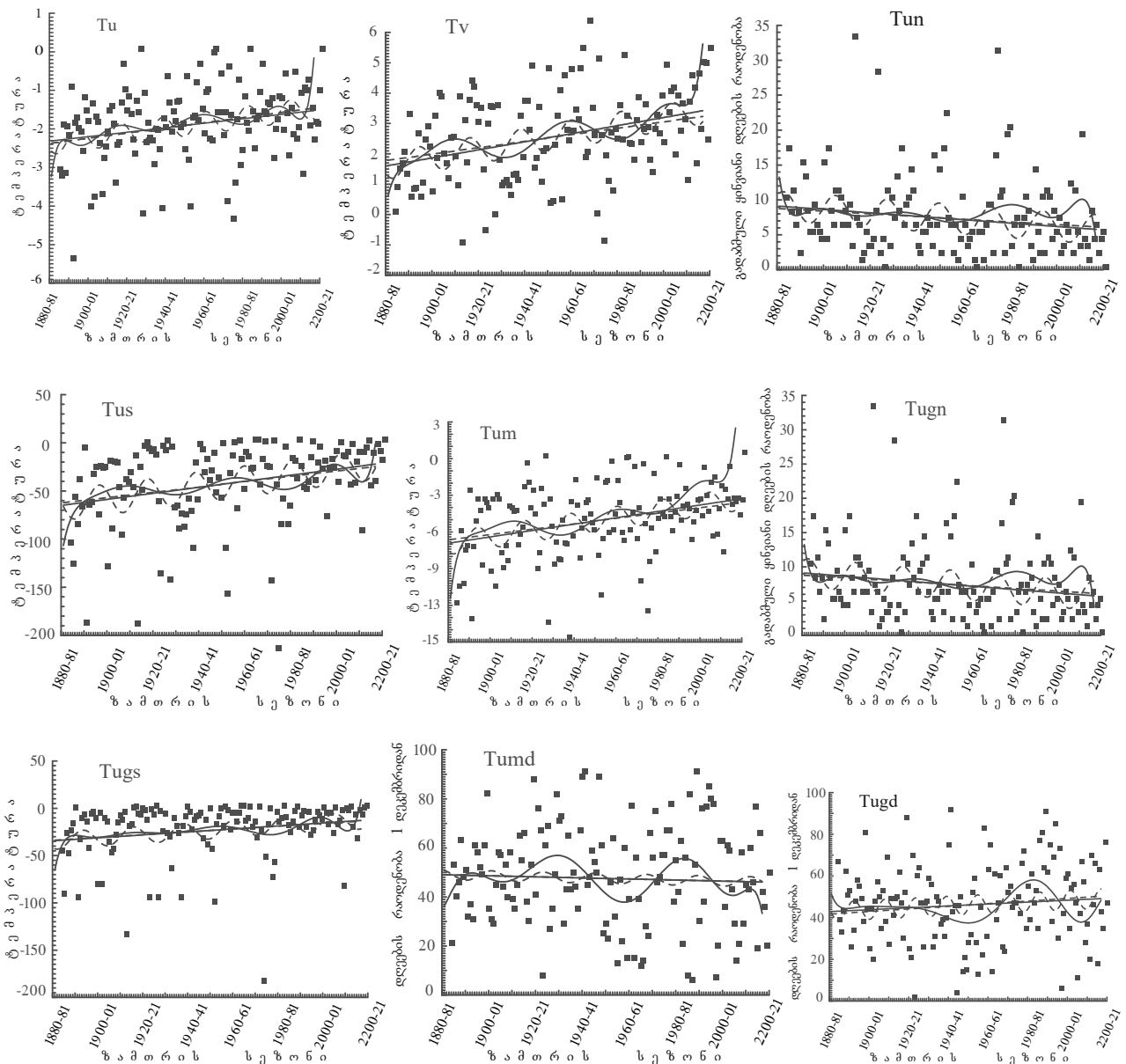


ნახ. 1. თბილისის ზამთრის სეზონის რეგიმული სტრუქტურის დამახასიათებელი პარამეტრების ალბათობის სიმკვრივეები

მაგალითად, თბილისის ზამთრის სეზონის საშუალო ტემპერატურა გლობალური დათბობის პერიოდში (უფრო ზუსტად 1881-2018 წლებში) მოიცავს დიაპაზონს -1-დან +5-მდე და საშუალო არითმეტიკული ტოლია მათემატიკური მოლოდინის. აღსანიშნავია, რომ ყინვიანი დღეების ტემპერატურათა ჯამის და გადაბმული ყინვიანი დღეების ტემპერატურათა ჯამის შემთხვევაში საშუალო ტემპერატურა არ ემთხვევა მათემატიკურ მოლოდინს, ორივე პარამეტრისთვის ტემპერატურის საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა ნაკლებია მათემატიკურ მოლოდინზე.

ზამთრის სეზონის დღე-ღამის მინიმალური ტემპერატურის დადგომის თარიღის და გადაბმული ყინვიანი დღეებიდან პირველი დღის თარიღის ღერძებზე დატანილია დღეების რაოდენობა, დაწყებული 1 დეკემბრიდან. მაგალითად, ზამთრის სეზონის მინიმალური ტემპერატურა, როგორც ნახაზიდან ჩანს 1 დეკემბრიდან 48-ე დღესა ანუ 17 დეკემბერს.

ზამთრის სეზონის დამახასიათებელი პარამეტრების ცვლილება განხილულ პერიოდში, წრფივი, ციკლური და არაწრფივი მიხლოვებებით მოცემულია 2-ე ნახაზზე.



ნახ. 2. თბილისის ზამთრის სეზონის დამახასიათებელი პარამეტრების ცვლილება გლობალური დათბობის პერიოდში, წრფივი მიახლოებით (სწორი ხაზი), ციკლური მიახლოებით (წყვეტილი მრუდი) და არაწრფივი მიახლოებით (უწყვეტი მრუდი).

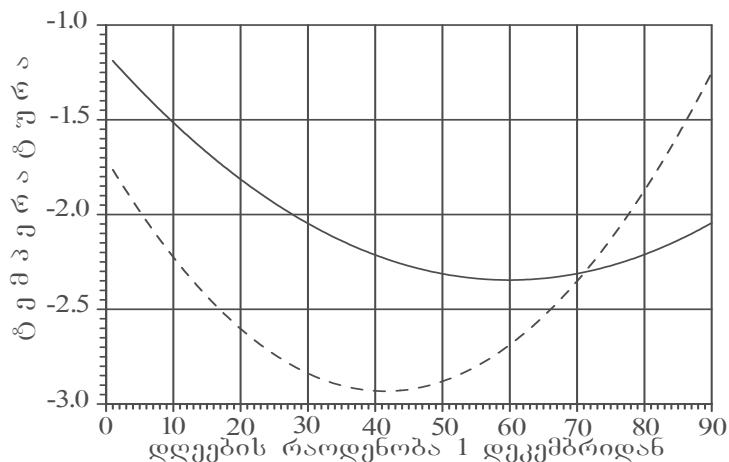
ნახაზზე დატანილი ზამთრის რეჟიმის განმსაზღვრელი პარამეტრები გვიჩვენებს, რომ გლობალური დათბობის პერიოდში ყინვიანი დღე-ღამეების საშუალო ტემპერატურა, ყინვიანი დღე-ღამეების ტემპერატურათა ჯამი, ყინვიანი დღე-ღამეების მინიმალური ტემპერატურა და გადაბმული ყინვიანი დღეების ტემპერატურების ჯამი, როგორც მოსალოდნელი იყო თანდათანობით ზრდას განიცდის. ყინვიანი დღე-ღამეების რაოდენობა და გადაბმული ყინვიანი დღეების მაქსიმალური რაოდენობა მცირდება. ხოლო, ყინვიანი დღეებიდან მინიმალური ტემპერატურის დადგომის თარიღი და გადაბმული ყინვიანი დღეებიდან პირველი დღის თარიღი ცვლილებას არ განიცდიან.

ცხრილი 2. ზამთრის სეზონის რეჟიმული სტრუქტურის განმსაზღვრელი პარამეტრებით მიღებული შედეგების ცდომილებათა შემცირება %-ში, საშუალო არითმეტიკულით მიღებულ ცდომილებებთან

ზამთრის სეზონის განმსაზღვრელი პარამეტრები	ზამთრის სეზონის სტანდარტული ცდომილების შემცირება %-ში სტატისტიკური ნორმის ცდომილებასთან შედარებით			
	სხვაობით	წრფივი მიახლოებით	წრფივი+ციკლური მიახლოებით	არაწრფივი (პოლინომური) მიახლოებით
Tv	6.69	6.96	9.82	9.82
Tu	3.82	3.89	6.41	5.86
Tun	4.09	4.39	8.35	7.56
Tus	4.48	4.42	8.31	6.54
Tum	6.07	6.22	9.10	4.73
Tugn	1.34	1.40	3.97	0.27
Tugs	3.31	3.31	4.95	4.28
Tumd	0.09	0.09	0.40	3.99
Tugd	0.41	0.46	1.93	4.42

სხვაობით და წრფივი მიახლოებით მიღებული შედეგები თითქმის ერთნაირად, დაახლოებით 4-დან 7 პროცენტამდე, აზუსტებენ Tv, Tu, Tun, Tus და Tum-ით მიღებულ შედეგებს. მხოლოდ, სხვაობით მიღებული შედეგები ოდნავ, ნაკლებად ზუსტია წრფივი მიახლოებით მიღებულ შედეგებთან. გადამბმულ ყინვიან დღეთა განმსაზღვრელი პარამეტრები ნაკლები სიზუსტით (დაახლოებით 1-დან 4-მდე) უახლოვდებიან ჭეშმარიტ განაწილებას. ხოლო, მინიმალური ტემპერატურის დადგომის თარიღები რაიმე ცვლილებას არ განიცდიან.

მიგვაჩნია, რომ გარკვეულ ინტერესს შეადგენს იმის თუნდაც მიახლოებითი დადგენა, თუ როგორ ცვლილებას განიცდის ზამთრის სეზონის აბსოლუტურად მინიმალური ტემპერატურა წლების მიხედვით. აბსოლუტურად მინიმალური ტემპერატურის დადგენა დიდ ცდომილებასთან უნდა იყოს დაკავშირებული, რადგან იგი დაკვირვებათა სიმრავლით არ დგინდება. იგი მხოლოდ წლის განმავლობაში ერთხელ გაზომილი მნიშვნელობით განისაზღვრება. იმისათვის რომ გამოგვერიცხა შემთხვევითი მნიშვნელობა, გამოვიყენეთ ყოველი დღის ტემპერატურა და უმცირეს კვადრატთა მეთოდით [5] პარაბოლის განტოლება, რომლის მინიმალური მნიშვნელობა ჩავთვალოთ მოცემული წლის აბსოლუტურ მინიმუმად.



ნახ.3. თბილისში ზამთრის სეზონის აბსოლუტურად მინიმალური ტემპერატურა

ნახ.3-ზე მოცემულია მიღებული ორი პარაბოლა, რომლებიც აგებულია სამად გაყოფილი მთელი განხილული დროის პირველი და მესამე პერიოდებისთვის.

სიდიდისა და დადგომის თარიღის განაწილების ალბათობის სიმკვრივე 1881-82 ÷ 1945-46 (წყვეტილი მრუდი) და 1946-47 ÷ 2017-18 (უწყვეტი მრუდი) წლების მიხედვით.

როგორც ნახაზიდან ჩანს აბსოლუტური მინიმუმი 1904 წელს შეადგენდა -2.9°C , ხოლო 1991 წელს - 2.4°C . ე.ი. 87 წლის მანძილზე გაიზარდა 0.5°C -ით.

ლიტერატურა

- [1] Tavartkiladze K., Kikawa A. Regime structure of temperature and precipitation contributing to droughts and desertification and the influence of climate change on it. Academy of Agriculture of Georgia. // Moambe, No. 28, 2010, pp. 309-317.
- [2] Obukhov A.M. On the statistical orthogonal expansion of empirical functions. // Herald of USSR Academy of Sciences, Geop., 3, 1960, pp. 432-439.
- [3] თავართქილაძე კ. დედამიწის ტემპერატურული ველის ვარიაციების უკიდურესი გადახრები და მათი კავშირი ამინდის ცვლილებებთან (თბილისის მაგალითზე) // გეოგრაფიის ინსტიტუტის შრომები, 3, 2011, გვ. 39-45.
- [4] Tavartkiladze K., Begalishvili N., Tsintsadze T., Kikava A. Influence of Global Warming on the Near-Surface Air Temperature Field in Georgia. // Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, v.6, N 3, 2012, pp. 55-60.
- [5] Mazmishvili A.I. Method of least squares. // Nedra, Moscow, 1968, 436 p.

DETERMINING PARAMETERS OF TBILISI'S WINTER REGIME AGAINST THE BACKDROP OF CLIMATE CHANGE AND THE ACCURACY OF THEIR DETERMINATION

Tavartkiladze K., Bolashvili N.

Vakhushti Bagrationi Institute of Geography of Ivane Javakishvili Tbilisi State University
nana.bolashvili@gmail.com

Abstract. The nine characteristic parameters of the winter season are considered: the average day-night temperature, the average temperature of frosty days, the number of frosty days, the sum of the temperatures of frosty days, the minimum temperature of frosty days, the maximum number of consecutive frosty days, the temperatures of consecutive frosty days and changes in the date of the minimum temperature from freezing days and the date of the first day from overlapping freezing days during the period of global warming and the accuracy of their determination.

Key words: Climate, climate change, regime structure

GLACIER KOLKA COLLAPSE ON SEPTEMBER 20, 2002 IN NORTH OSSETIA

Zaalishvili V.B.

Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Centre, Russian Academy of Sciences
vzaal@mail.ru

Abstract. Based on the processing of digital instrumental recordings, the main stages of the Kolka glacier (North Ossetia) collapse process were defined. 15 special points of the collapse process were identified in digital recordings. In addition, the main movement stages of the ice-rock mass were clarified on the basis of seismological data. Based on the detailed analysis, the velocities and accelerations at different stages were estimated and the nature of changes in velocities and accelerations caused by the features of the terrain relief (slope steepness, cross-section) along the movement path was determined.

Keywords: geological catastrophe, glacier, ice-rock flow, modeling, analysis.

On September 20, 2002, a geological catastrophe occurred in the form of a sudden collapse of the Kolka glacier with a volume of ice-rock flow of about 140 million cubic meters in the Karmadon Gorge in North Ossetia. As a result, the village of Nizhny Karmadon completely disappeared. About 130 people, including children, died. The film crew of Sergei Bodrov also died. A large part of the houses in the village of Gornaya Saniba were flooded and submerged underwater.

In this study, the instrumental observation data were compared with macroseismic survey of the territory and results of mathematical modeling for the movement of the avalanche flow, taking into account the geometry of the gorge. As a result of the analysis, the length of the flow was calculated and the seismic intensity manifested by the ice-rock flow on the rocky mountain massif in the area known as Karmadon Gates was determined.

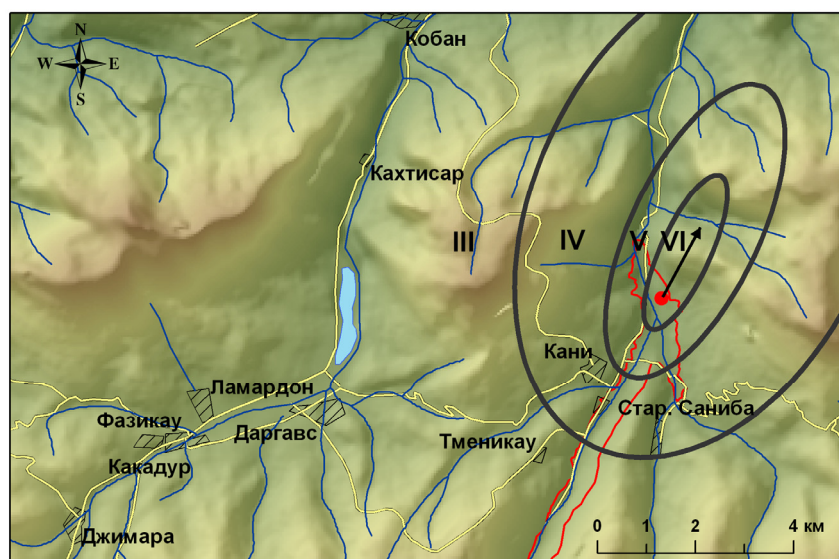


Fig. 1. Isoseists of the seismic event associated with the Kolka glacier collapse on 20.09.02 (the arrow indicates the direction of impact).

Based on the processing of digital instrumental recordings, the main stages of the Kolka glacier collapse process were defined. 15 special points of the collapse process were identified in digital recordings. In addition, the main movement stages of the ice-rock mass were clarified on the basis of seismological data. Based on the detailed analysis, the velocities and accelerations at different stages were estimated and the nature of changes in velocities and accelerations caused by the features of the terrain relief (slope steepness, cross-section) along the movement path was determined.

The model considering the movement of the glacier is most similar to an avalanche. The velocities of the ice-rock flow were 57.2 m/s, 105.8 m/s, 49.4 m/s, and 24.8 m/s at different sections. This was due to a significant change in geomorphological conditions in the discharge zone. The length of the ice-rock flow varied from 5 km to 3 km at the height of 150-200 m.

The intensity of event caused by colliding with the mountain massif reached VI (Fig. 1). The event is characterized by a high-frequency spectrum of vibrations. It should be noted that the formulas used in seismology were obtained for earthquakes and were used in present study solely as approximate relations.

სარჩევი – Content

N	ავტორები – მოხსენება/Autors - Paper	გვ./pp.
1	ჭელიძე თ., ვარამაშვილი ნ., ღლონტი ნ., დარახველიძე ლ. - გეოფიზიკის ინსტიტუტი - 90 წლისა Chelidze T., Varamashvili N., Ghlonti N., Darakhvelidze L. - Institute of Geophysics - 90 years	3-7
2	Tsereteli N., Varazanashvili O. - Review of Probabilistic Seismic Hazard Assessment in Georgia - Main Challenges	8-8
3	Shubladze T., Tsereteli N., Tugushi N. - Site Characterization for Critical Infrastructure	9-9
4	Nazaretyan S.N., Mirzoyan L.B., Nazaretyan S.S., Poghosyan F.Zh. - Main Causes and Features of Change of Seismic Hazard Assessments in the Territory of Armenia According to Building Codes	10-13
5	Nazaretyan S.N., Igityan H.A., Mazmanyanyan L.V., Mirzoyan L.B. - Seismic Risk Features of a Destructive Earthquake Zone	14-17
6	Tatoyan S.S., Aramyanyan Sh.A. - Characteristic Illegal Changes in Multiapartment Buildings that Lead to Damage to the Buildings During the 1988 Spitak Earthquake	18-22
7	Haroutiunian R.A., Asatryan A.H., Nazaretyan S.N., Egnatosyan N.M., Avagyan A.V. - A New Point of View at the Destructive 1827 Tsaghkadzor Earthquake	23-26
8	Sborshchikov A., Mepharidze E., Chelidze T., Matcharashvili T., Laliashvili L., Tepnadze D. - The Temporal Analysis of Enguri Dam Datasets	27-30
9	Sborshchikov A., Mepharidze E., Chelidze T. - Temporal Analysis of Earthquakes and Approximation by Quantile Function	31-33
10	ამილახვარი დ., ვარამაშვილი ნ., ხარშილაძე ო. - თვითორგანიზებული კრიტიკულობა სეისმურ პროცესებში, მოდელირება და მონაცემთა ანალიზი Amilakhvari D., Varamashvili N., Kharshiladze O. - Self-Organized Criticality in Seismic Processes, Modeling and Data Analysis	34-37
11	Jimsheladze T., Melikadze G., Kobzev G., Tchankvetadze A. - Variation of Geophysical Parameters During Preparation of Seismic Events in Georgia (2023)	38-41
12	გოგიაშვილი ჯ., დიასამიძე შ., კიტოვანი დ. - სეისმური საზღვრის დადგენის ერთი მეთოდის შესახებ Gogiashvili J., Diasamidze Sh., Kitovani D. - A Method of Establishment of a Seismic Boundary	42-43
13	Boynagryan V.R. - Regularities of Mudflows and Floods Formation in Armenia	44-48
14	Boynagryan V.R. - The Ughedzor Landslide District (Armenia) and a Problem of Running of the Strategic Motorway	49-52
15	Bekmurzaeva L.R., Gagaeva Z.Sh., Kerimov I.A. - Modern Climatic Conditions of the Steppe Landscapes of the North Caucasus Against the Backdrop of a Changing Climate	53-55
16	Gairabekov U.T., Gunya A.N., Machmudova L.Sh. - Landscape Features of Carbon Polygon of the Chechen Republic	56-58
17	Kerimov I.A., Elzhaev A.S., Doduev A.A. - Study of Natural and Man-Made Ecosystems by Methods of Engineering Geophysics (On the Example of the Chechen Republic)	59-63
18	Kerimov I.A. - Modeling the Anomalous Gravitational Field of Fault-Block Structures	64-67
19	ჯამასპაშვილი ნ. - ლანდშაფტების პერცეფცია: პერსპექტიული მიმართულება კონსერვაციულ გეოგრაფიაში Jamaspashvili N. - Perception of Landscapes: Prospective Direction in Conservation Geography	68-73
20	სეფერტელაძე ზ., დავითაია ე., ალექსიძე თ., რუხაძე ნ. - ლანდშაფტის ენერგეტიკა – ბუნებრივი გარემოს ფუნქციონირებისა და რაციონალური ბუნებათსარგებლობის ძირითადი გეოფიზიკური მახასიათებელი Seperteladze Z., Davitaia E., Aleksidze T., Rukhadze N. - Landscape Energy – the Main Geophysical Characteristic of the Functioning of the Natural Environment and the Rational use of Nature	74-76

21	დემეტრაშვილი დ. - მ. ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორში ჩატარებული კვლევების შესახებ (2011-2023) Demetrashvili D. - On Research Carried out in the Sector of Modeling the Sea and Atmospheric Dynamics of the M. Nodia Institute of Geophysics	77-80
22	მესტვირიშვილი შ., ჭალაშვილი გ., კოდუა მ. - გაზშემოდინების კვლევა შავი ზღვის შელფზე ბათუმის აკვატორიაში Mestvirishvili Sh., Kodua M., Chaghiashvili G. - Research of Gas Inflow on the Black Sea Shelf Near Batumi Area	81-85
23	Aghamalyan V.A. - Formation in Marine Conditions of the Ophiolite Olistostrome of the Bazum Sector of the Planetary Anatolian-South Caucasus Ophiolite Belt in Northern Armenia	86-89
24	ბასილაშვილი ც. - საქართველოს მდინარეთა წყალმოვარდნების სივრცულ - დროითი განვითარება Basilashvili Ts. - Spatio-Temporal Development of Floods of Georgian Rivers	90-93
25	Melikadze G., Todadze M., Tchankvetadze A., Chitanava R., Gaprindashvili M., Chikadze T. - Study Water Cycle Process on the Territory of Georgia	94-98
26	Melikadze G., Kapanadze N., Forizs I., Chikviladze E. - Assessment Reservoir Temperature of West Georgian Geothermal Deposit by Application of Silica-Enthalpy Mixing Method	99-101
27	მაკალათია ი., ბილაშვილი კ., კერესელიძე დ. - მდინარე ჭოროხის ნატანის მიერ გამოწვეული ცვლილებები და თანამედროვე მიდგომები აჭარის სანაპიროს ზოლში Makalathia I., Bilashvili K., Kereselidze D. - The Changes Caused by the Sediment of the Chorokhi River and the Modern Approaches to the Coastline of Adjara	102-104
28	შავლიაშვილი ლ., კუჭავა გ., შუბლაძე ე., ტაბატაძე მ., ბუაჩიძე ნ. - 2023 წლის რაჭა-ლეჩხუმის და ქვემო სვანეთის რეგიონის ბუნებრივი წყლების ჰიდროქიმიური შედგენილობის შესწავლა Shavliashvili L., Kuchava G., Shubladze E., Tabatadze M., Buachidze N. - Study of Hydrochemical Composition of Natural Waters of Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti Region in 2023	105-112
29	ხვედელიძე ზ., ტატიშვილი მ., სამხარაძე ი., ზოტიკიშვილი ნ., ნებერიძე ნ. - რელიეფის გავლენის ზოგიერთი მახასიათებლის შესწავლა ლოკალური ატმოსფერული პროცესების დინამიკაზე Khvedelidze Z., Tatishvili M., Samkharadze I., Zotikishvili N., Nebieridze N. - Study of Terrain Influential Parameters on the Dynamics of Local Atmospheric Processes	113-116
30	სამხარაძე ი., დავითაშვილი თ. - ატმოსფეროს თერმოდინამიკური მდგომარეობის ზოგიერთი მახასიათებლის შესწავლა ლოკალური კონვექციური პროცესებისთვის Samkharadze I., Davitashvili T. - Study of Some Characteristics of the Thermodynamic State of the Atmosphere for Local Convection Processes	117-121
31	Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Kutaladze N., Megrelidze L., Tatishvili M. - Variability of the Mean Max Annual Air Temperature in 39 Locations of Georgia in 1956-2015	122-126
32	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	127-132
33	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)	133-137
34	Amiranashvili A., Elizbarashvili E., Pipia M., Varazanashvili O. - Expected Changes of the Number of Days with Hail in Tbilisi to 2085	138-142
35	Beglarashvili N., Jamrishvili N., Janelidze I., Pipia M., Tavidashvili Kh. - Analysis of Strong Precipitation in Tbilisi on August 29, 2023	143-146
36	ხომასურიძე გ., ლალიძე ლ. - ქარის საშუალო სიჩქარის ცვლილება კლიმატის ცვლილების ფონზე (თბილისის მაგალითზე)	147-150

	Khomasuridze G., Lagidze L. - Changes in Average Wind Speed Due to Climate Change (Tbilisi as an Example)	
37	Beglarashvili N., Jamrlishvili N., Janelidze I., Pipia M., Tavidashvili Kh., Tsintsadze T. - Some Results of Statistical Analysis of the Daily Wind Speed in Tbilisi in 1971-2020	151-155
38	ელიზბარაშვილი ე., ვარაზანაშვილი ო., ლაღიძე ლ., ფიფია მ., ჩიხლაძე ვ. - ძლიერი ქარების შესახებ კახეთის რეგიონში Elizbarashvili E., Varazanashvili O., Lagidze L., Pipia M., Chikhladze V. - About Strong Winds in Kakheti Region	156-160
39	ქართველიშვილი ლ., მოდრეკელიძე მ., ფანჩვიძე ბ., ქოთოლაშვილი გ., ხეცურაიანი მ. - ქარის და წვიმის ერთობლივი ზემოქმედება ვერტიკალურ ზედაპირებზე კლიმატის ცვლილების დინამიკის გათვალისწინებით Kartvelishvili L., Modrekelidze M., Fanchvidze B., Kotolashvili G., Khetsuriani M. - The Combined Effect of Wind and Rain is Vertical Considering the Dynamics of Climate Change on Surfaces	161-165
40	Elizbarashvili M., Mikuchadze G., Chikhradze N. - Regional Climate Model Simulation of Georgia Precipitation and Surface Air Temperature during 2009–2014	166-169
41	Shekrladze I. - Rapid Intensification of Hurricane Ian During Landfall in Southwest Florida (2022)	170-174
42	კაპანაძე ნ., ტატიშვილი მ., მკურნალიძე ი., ფალავანდიშვილი ა. - წყინვის მახასიათებელი პარამეტრების ანომალიები კლიმატის მიმდინარე ცვლილების ფონზე აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე Kapanadze N., Tatishvili M., Mkurnalidze I., Palavandishvili A. - Anomalies of Frost Characteristic Parameters in the Territory of Eastern Georgia in the Background of Current Climate Change	175-180
43	მკურნალიძე ი., კაპანაძე ნ. - მშრალი ელქვი როგორც ტყის ხანძრის გამომწვევი მიზეზი Mkurnalidze I., Kapanadze N. - Dry Thunderstorm as a Cause of Forest Fires	181-184
44	ვარაზანაშვილი ო., გაფრინდაშვილი გ., ელიზბარაშვილი ე., ამირანაშვილი ა., ბასილაშვილი ც., ფუქსი ს. - საქართველოს ბუნებრივი საშიშროებების მოვლენების ახალი მონაცემთა ბაზა (GeNH): კატალოგების შედგენის პრინციპები და შედეგები Varazanashvili O., Gaprindashvili G., Elizbarashvili E., Amiranashvili A., Basilashvili Ts., Fuchs S. - New natural Hazard Event Database for the Republic of Georgia (GeNHs): Catalogs Compiling Principles and Results	185-187
45	მათიაშვილი თ., ტუშური გ. - მირის აზიმუტის განსაზღვრა დუშეთის მაგნიტურ ობსერვატორიაში Matiashvili T., Tushuri G. - Determination of the Azimuth of Mira at the Dusheti Magnetic Observatory	188-190
46	Kiria T., Zerakidze Z., Nikolaishvili M., Kiria J. - The Relationship between Earth's Magnetic Field Variations and Solar Activity	191-193
47	Kobaidze D., Kharshiladze O. - Modulational Instability and Rogue Waves According to Nonlinear Schrodinger Equation	194-197
48	Matcharashvili T., Sborshchikovi A., Chikviladze E., Laliashvili L., Tepnadze D. - Analysis of the Relation Between the Variation of ASY-H Geomagnetic Indices and the Character of Internet Interdomain Routing During the 2003 Halloween Geomagnetic Storm	198-202
49	ბაკრაძე თ., ლლონტი ნ., ერქომაიშვილი ტ., დემურიშვილი ზ., ალანია ე., თაყაძე გ., ბარბაქაძე პ. - საპლანეტათაშორისო მაგნიტური ველის სექტორული სტრუქტურა და მისი გავლენა კოსმოსური სხივების ფორბუმ ეფექტებზე Bakradze T., Glonti N., Erkomaishvili T., Demurishvili Z., Alania E., Takadze G., Barbakadze P. - The Sectoral Structure of the Intraplanetary Magnetic Field and its Influence on the Forbush Effects of Cosmic Rays	203-206
50	თაყაძე გ., ლლონტი ნ., ერქომაიშვილი ტ., ბაკრაძე თ. - თსუ, მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის კოსმოფიზიკის ლაბორატორიის ფუნქციონირების ბოლო პერიოდის მოკლე მიმოხილვა Takadze G., Ghlonti N., Erkomaishvili T., Bakradze T. - A Brief Overview of Operation of the	207-209

	Cosmophysics Laboratory of M. Nodia Institute of Geophysics, TSU at the Last Period	
51	Burdiladze L., Kharshiladze O., Modebadze Z. - Analysis of Solar Activity and Earth's Climate	210-212
52	Elbakidze Kh., Kharshadze O., Ghurtchumelia A. - Solar Activity Influence on the Climate Via Magnetic Turbulence	213-216
53	Odilavadze D., Chelidze T., Yavolovskaya O. - Some Georadiolocation Images of Cylindrical Bodies Built with Different Dielectric Fillers, Placed in a Dielectric Environment	217-220
54	Odilavadze D., Varamashvili N., Chelidze T., Glonti N., Kiria J., Tarkhan-Mouravi A. - Complex Study of the Subsurface at a Small Depth Using Georadiolocation and Ultrasound Methods	221-224
55	გოგუა რ., ქირია ჯ., ღლონტი ნ., თავართქილაძე შ., წურწუმია ლ. - შავი ზღვის სანაპირო ზოლის (გრეიგოლეტი-კუხნარი) გეომაგნიტური მეთოდებით გამოკვლევა Gogua R., Kiria J., Ghlonti N., Tavartkiladze Sh., Tsurtsumia L. - Investigation of the Black Sea Coastline (Grigoleti-Kukhnari) by Geomagnetic Methods	225-231
56	ვარამაშვილი ნ., ქირია ჯ., ღლონტი ნ., დვალი ლ. - გრუნტის ჩაქცევის (მაბრისებური ფორმის) შესწავლა ელექტროდიების მეთოდით Varamashvili N., Kiria J., Ghlonti N., Dvali L. - Study of the Ground Collapse (Sinkhole) Using Electroprospecting Methods	232-235
57	თარხან-მოურავი ა., ქირია ჯ., ღლონტი ნ., გიგებერია მ. - მარნეულის მუნიციპალიტეტში მზის პანელების განთავსების ტერიტორიაზე ჩატარებული გეოფიზიკური (ელექტროსადიებო) კვლევის შედეგები Tarkhan-Mouravi A., Kiria J., Ghlonti N., Gigiberia M. - The Results of the Geophysical (Electrical Prospecting) Survey Conducted in the Area of Solar Panels Placement in Marneuli Municipality	236-239
58	ჩიხლაძე ვ., ვარამაშვილი ნ. - მთის მყინვარების დისტანციური ზონდირების ზოგიერთი თანამედროვე მეთოდი Chikhladze V., Varamashvili N. - Some Modern Methods for Remote Sensing of Mountain Glaciers	240-245
59	Meladze M., Meladze G. - Agroclimatic Changes in the Mountainous Regions of Georgia	246-249
60	აფციაური ნ. - ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიტოპათოლოგიისა და ბიომრავალფეროვნების ინსტიტუტის საცდელ-სადემონსტრაციო ნაკვეთის აგროკლიმატური რესურსები Aptsiauri N. - Agroclimatic Resources of the Pilot-Demonstration Plot of the Institute of Phytopathology and Biodiversity of Batumi Shota Rustaveli State University	250-252
61	Shchasnaya I., Krupskaya M. - The Role and Significance of Database Creation in the Development of "Scheme of Public Green Spaces" in the Cities of Belarus (On the Example of Baranovich City)	253-256
62	Shchasnaya I., Rondak U. - Monitoring of Green Spaces' Condition in Minsk City (The Republic of Belarus)	257-261
63	ჩხიტუნძე მ., კირკიტაძე დ., კერესელიძე ზ. - წყალსაცავები და მევენახეობის პრობლემა Chkhitudze M., Kirkitadze D., Kereselidze Z. - Reservoirs and Problem of Viticulture	262-264
64	მესტვირიშვილი შ., ბენაშვილი მ., კოდუა მ., კიკაბიძე კ., იაშვილი ნ. - მევენახეობის რეგიონებში ბორდოს ხსნარით შეწამვლის გავლენა ეკოლოგიაზე Mestvirishvili Sh., Benashvili M., Kodua M., Kikabidze K., Iashvili N. - Impact of the Bordeaux Copper on the Environment of the Vinery Region	265-267
65	კიკნაძე ნ., ცინცაძე ლ., სეიდიშვილი ნ., მეტრეველი მ., კუჭავა მ., გოგიტიძე თ. - "Hovenia Dulcis Thunb". გენერაციული ორგანოების ხარისხობრივი მაჩვენებლების ანალიზი და მათი ფარმაკოლოგიური მნიშვნელობა Kiknadze N., Tsintsadze L., Seidishvili N., Metreveli M., Kuchava M., Gogitidze T. - Analysis of Qualitative Indicators of Generative Organs of "Hovenia Dulcis Thunb" and their Pharmacological Significance	268-272
66	გვარიშვილი ნ., კიკნაძე ნ., აბულაძე თ., თავდგირიძე გ. - აჭარისწყლის ხეობის ბუნებრივი ჰაბიტატების კონსერვაციული ღირებულება და შუახევჭესის მიმდებარე ტერიტორიების ნიადაგების დაბინძურების შეფასება	273-276

	Gvarishvili N., Kiknadze N., Abuladze T., Tavdgiridze G. - Conservative Value of Natural Habitats of the Adjaraistkhali Gorge and Assessment of Soil Pollution Adjacent to the Territories of the Shuakhevi HPP	
67	გვარიშვილი ნ., კიკნაძე ნ., ნაკაიძე ნ., მეგრელიძე ნ. - ფარავნის ტბის მიმდებარე მთის ველების ჰაბიტატების ეკოტოქსიკოლოგიური კვლევები Gvarishvili N., Kiknadze N., Nakaidze N., Megrelidze N. - Ecotoxicological Studies of Habitats Adjacent to Mountain Fields of the Paravani Lake	277-281
68	დარჩიძე გ. - აჭარის მთავარი წყალშემკრები აუზების მქონე მდინარეების ფეკალური დაბინძურების დონის ლაბორატორიული კვლევა Darchidze G. - Rivers with the Main Water Catchment Basins of Adjara Laboratory study of Fecal Contamination Levels	282-287
69	მარგალიტაშვილი დ. , დავითაშვილი მ. - პესტიციდების და აგროქიმიკატების გამოყენების შეფასება თელავის მუნიციპალიტეტის მაგალითზე Margalitashvili D., Davitashvili M. - Assessment of the use of Pesticides and Agrochemicals on the Example of Telavi Municipality	288-291
70	Bliadze T., Chikhladze V., Chkhitunidze M., Kirkitadze D. - Comparative Analysis of Mean Monthly and Annual Concentrations of Particulate Matter PM2.5 and PM10 in Tbilisi, Batumi, Kutaisi and Rustavi in 2019-2022	292-296
71	სურმავა ა., გიგაური ნ., კუხალაშვილი ვ., ინჭვირველი ლ. - PM2.5 და PM10 დროში ცვლილება ქ. ქუთაისის ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების მონიტორინგის მონაცემების მიხედვით Surmava A., Gigauri N., Kukhalashvili V., Intskirveli L. - A Time Variation of the PM2.5 and PM10 Concentrations According to the Kutaisi Atmospheric Air Pollution Monitoring Network Data	297-301
72	სურმავა ა., გიგაური ნ., კუხალაშვილი ვ., ინჭვირველი ლ. - ქ. ქუთაისის ატმოსფეროში PM2.5 და PM10 კონცენტრაციის ველი მიღებული ექსპერიმენტული გაზომვებით Surmava A., Gigauri N., Kukhalashvili V., Intskirveli L. - Field of Concentration of PM2.5 and PM10 in Kutaisi Atmosphere Obtained by Experimental Measurements	302-306
73	სურმავა ა., გიგაური ნ., ინჭვირველი ლ. - ქალაქების თბილისისა და რუსთავის ატმოსფეროს PM ნაწილაკებით დაბინძურების გამოკვლევა Surmava A., Gigauri N., Intskirveli L. - <u>Investigation of PM Particle Pollution of the Atmosphere of the Cities of Tbilisi and Rustavi</u>	307-311
74	Chelidze L. - On Indoor Environment Contamination by Cesium-Rich Radioactive Microparticles Released from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant: A Review	312-314
75	Kapanadze N., Melikadze G., Tchankvetadze A., Todadze M., Jimshehadze T., Gogichaishvili Sh., Chelidze L., Chikviladze E., Vaupotič J. - Indoor Radon Concentrations in Selected Buildings of Georgia	315-318
76	უჩანეიშვილი ს., ივანიშვილი ნ., სალუქვაძე ე., ტულაშვილი ე., კალმახელიძე ს., გოგებაშვილი მ. - ატომური ენერგეტიკის განვითარებასთან დაკავშირებული საქართველოს შავი ზღვისპირა ზონის რადიოეკოლოგიური დაბინძურების საფრთხეები Uchaneishvili S., Ivanishvili N., Salukvadze E., Tulashvili E., Kalmaxelidze S., Gogebashvili M. - Dangers of Radioecological Pollution of the Black Sea Coast of Georgia Related to the Development of Atomic Energy	319-322
77	მათიაშვილი ს., ჩანქსელიანი ზ. - მძიმე ლითონების დაგროვება და შემცველობა სამკურნალო მცენარე ფარსმანდუკში (Achillea sedelmeyeriana) საქართველოს მაღალმთიან ზონაში Matiashvili S., Chankseliani Z. - Accumulation and Content of Heavy Metals in the Medicinal Plant Achillea Sedelmeyeriana in the High-Mountain Zone of Georgia	323-327
78	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)	328-331

79	Japaridze N., Khazaradze K., Chkhitudze M., Revishvili A. - Mortality Variability in Georgia in 1994-2022	332-336
80	Japaridze N., Khazaradze K., Chkhitudze 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	337-343
81	მელაძე გ. - კოვიდ-19 პანდემიით გამოწვეული სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობის დანაკარგები საქართველოში Meladze G. - Losses in Life Expectancy due to the COVID-19 Pandemic in Georgia	344-346
82	კაჭარავა გ., ბერულავა ნ., მოდრეკელიძე მ., კეკენაძე ე., გელოვანი გ. - საქართველოში სეტყვასაწინააღმდეგო სამუშაოების მოკლე მიმოხილვა Katcharava G., Berulava N., Modrekelidze M., Kekenadze E., Gelovani G. - Brief Overview of Anti-Hail Works in Georgia	347-349
83	თავართქილაძე კ., ბოლაშვილი ნ. - გლობალური დათბობის პირობებში თბილისის ზამთრის რეჟიმის განმსაზღვრელი პარამეტრები და მათი განსაზღვრის სიზუსტე Tavartkiladze K., Bolashvili N. - Determining Parameters of Tbilisi's Winter Regime Against the Backdrop of Climate Change and the Accuracy of their Determination	350-355
84	Zaalishvili V.B. - Glacier Kolka Collapse on September 20, 2002 in North Ossetia	356-357

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი
IVANE JAVAKHISHVILI TBILISI STATE UNIVERSITY
MIKHEIL NODIA INSTITUTE OF GEOPHYSICS

საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია
„ დედამიწასა და მის გარსებში მიმდინარე გეოფიზიკური პროცესები“

ედგნება ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის 90 წლისთავს

თბილისი, საქართველო, 16-17 ნოემბერი, 2023 წ.

შრომები

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
"Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes"

Dedicated to 90-th Anniversary of Mikheil Nodia Institute of Geophysics
of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University

Tbilisi, Georgia, November 16-17, 2023

Proceedings

ტირაჟი 70 ეგზ.
Circulation 70 copy.
ISBN 978-9941-36-147-0

E-mail: geophysics@tsu.ge
<http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/254>

Tbilisi
2023

Layout Designer – Lela Tsiklauri

Cover Designer – Mariam Ebralidze

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა
თბილისი, 2023

0128 თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზირი 1
1, Ilia Tshavtchavadze Ave., Tbilisi 0128
Tel: +995 (32) 2250484, # 6284; #6278
www.press.tsu.edu.ge

