

მიხეილ ნოდიას გეოფიზიკის ინსტიტუტი

# შრომების კრებული

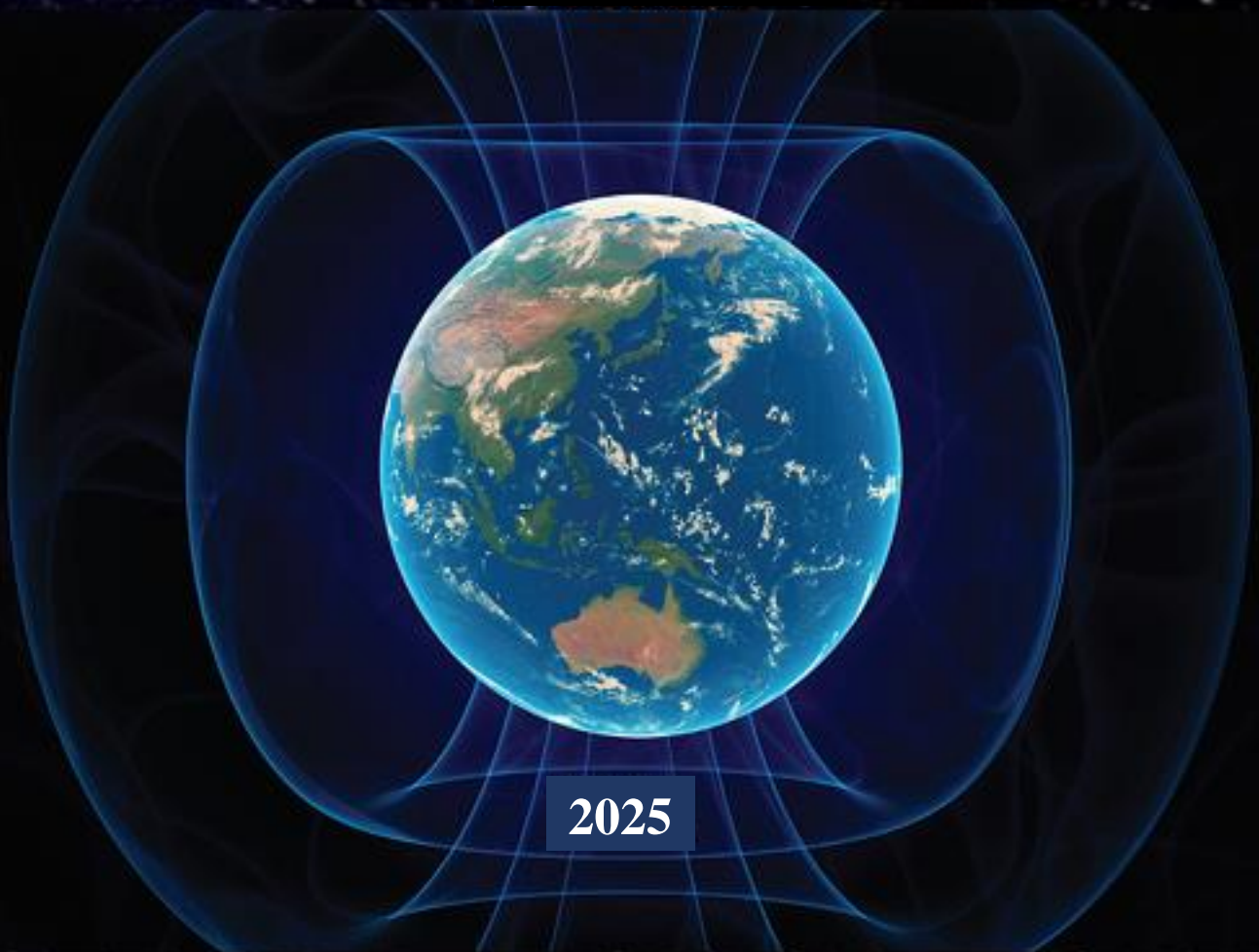
ИНСТИТУТ ГЕОФИЗИКИ ИМ. М. НОДИА

# СБОРНИК ТРУДОВ

MIKHEIL NODIA INSTITUTE OF GEOPHYSICS

# TRANSACTIONS

**LXXVIII**



**2025**

ISSN 1512-1135

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

IVANE JAVAKHISHVILI TBILISI STATE UNIVERSITY  
Mikheil Nodia Institute of Geophysics

ТБИЛИССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. ИВ. ДЖАВАХИШВИЛИ  
Институт геофизики им. М. З. Нодиа

**შრომების კრებული**

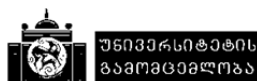
**ტ. LXXVIII**

**TRANSACTIONS**

**vol. LXXVIII**

**СБОРНИК ТРУДОВ**

**т. LXXVIII**



**მთავარი რედაქტორი: ამირანაშვილი ა.**

**Editor-in-Chief: Amiranashvili A.**

**Главный редактор: Амиранашвили А.Г.**

**სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭო:**

ადამია შ., არზიანი ზ., აჯიევი ა. (ყაზარდო-ბალკარეთის რესპუბლიკა, რუსეთი), ბენდერევი ა. (ბულგარეთი), ბერძენიშვილი ნ., ბოლაშვილი ნ., **გამყრელიძე ე.** გვენცაძე თ., გოგიჩაიშვილი ა. (მექსიკა), დარახველიძე ლ. (მთავარი რედაქტორის მოადგილე), დემეტრაშვილი დ., დვალი ნ., ელიზბარაშვილი ე., ვარამაშვილი ნ., ზაალიშვილი ვ. (რესპუბლიკა ჩრდილოეთ ოსეთი-ალანია, რუსეთი), თავართქილაძე კ., კერესელიძე ზ., მამმადლი ტ. (აზერბაიჯანი), მელიქაძე გ., მეტრეველი გ., მეფარიძე ე., ნიკოლაიშვილი მ. (მდივანი), პოვოლოცკაია ნ. (რუსეთი), ჟოვინსკი ე. (უკრაინა), სენიკი ი. (რუსეთი), ტატიშვილი მ., ქირია ჯ., ქირია თ., ღლონტი ნ., ჩაგელიშვილი გ., ჭელიძე თ., ხარშილაძე ო.

**THE EDITORIAL AND PUBLISHING BOARD:**

Adamia Sh., Adjiev A. (Kabardino-Balkar Republic, Russia), Arziani Z., Benderev A. (Bulgaria), Berdzenishvili N., Bolashvili N., Chagelishvili G., Chelidze T., Darakhvelidze L. (Associate Editor), Demetrashvili D., Dvali N., Elizbarashvili E., **Gamkrelidze I.**, Ghlonti N., Gogichaishvili A. (Mexico), Gventsadze T., Kereselidze Z., Kharshiladze O., Kiria J., Kiria T., Mammadli T. (Azerbaijan), Melikadze G., Mepharidze E., Metreveli G., Nikolaishvili M. (secretary), Povolotskaia N. (Russia), Senik I. (Russia), Tatishvili M., Tavartkiladze K., Varamashvili N., Zaalishvili V. (Republic of North Ossetia-Alania, Russia), Zhovinsky E. (Ukraine).

**РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ СОВЕТ:**

Адамия Ш.А., Аджиев А.Х. (Кабардино-Балкарская Республика, Россия), Арзиани З.А., Бендерев А.Д. (Болгария), Бердзенишвили Н.М., Болашвили Н.Р., Варамашвили Н.Д., **Гамкрелидзе И.П.**, Гвенцадзе Т.Г., Глонти Н.Я., Гогичаишвили А.Т. (Мексика), Дарахвелидзе Л.К. (заместитель главного редактора), Двали Н.С., Деметрашвили Д.И., Жовинский Э.Я. (Украина), Заалишвили В.Б. (Республика Северная Осетия-Алания, Россия), Кереселидзе З.А., Кирия Дж. К., Кирия Т.В., Маммадли Т. (Азербайджан), Меликадзе Г.И., Мепаридзе Е.М., Метревели Г.С., Николайшвили М.М. (секретарь), Поволоцкая Н.П. (Россия), Сеник И.А. (Россия), Таварткиладзе К.А., Татишвили М.Р., Харшиладзе О.А., Чагелишвили Г.Д., Челидзе Т.Л., Элизбарашвили Э.Ш.

კრებული გამოდის 1936 წლიდან და მოიცავს გეოფიზიკის ყველა მიმართულებას. კრებულში იბეჭდება სამეცნიერო სტატიები, მონოგრაფიები, მიმოხილვები, მოკლე ინფორმაციები, დისკუსიები, წიგნების მიმოხილვები, განცხადებები სამ – ქართულ, ინგლისურ და რუსულ ენაზე. პუბლიკაციები უფასოა. კრებული არის საერთაშორისო რეფერირებადი, რეცენზირებადი და ციტირებადი გამოცემა; ჩართულია საერთაშორისო ელექტრონულ საბიბლიოთეკო მონაცემთა ბაზა *DSpace*-ში. მისი ინდექსირება ხდება *Google Scholar* და *Publish or Perish*-ში. გამოდის, როგორც წესი, წელიწადში ერთხელ, სტატიების დაგროვების მიხედვით. საჭიროების შემთხვევაში შესაძლებელია წელიწადში რამდენიმე კრებულის გამოცემა.

The Transactions include all branches of the Geophysics. It is published since 1936. Types of contributions are: research papers, monographs, reviews, short communications, discussions, book reviews, and announcements on any of three languages – Georgian, English, Russian. Publications are free of charge. Transactions are international referred, peer-reviewed and cited edition; they are included in the international electronic library data base *DSpace*, indexed in *Google Scholar* and *Publish or Perish*. The Transactions published in proportion to the accumulation of articles, usually once per annum. If necessary, several publications per annum are possible.

Сборник охватывает все направления геофизики. Издается с 1936 года. В сборнике публикуются научные статьи, монографии, обзоры, краткие информации, дискуссии, обзоры книг, объявления на любом из трех языков – грузинский, английский, русский. Публикации бесплатные. Сборник является международным реферируемым, рецензируемым и цитируемым изданием; включен в международную электронную библиотечную базу данных *DSpace*. Индексируется в *Google Scholar* и *Publish or Perish*. Издается по мере накопления статей, обычно раз в год. При необходимости возможно несколько изданий в год.

**სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭოს მისამართი:**

საქართველო, 0160, თბილისი, ალექსიძის ქ. 1, მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი  
Tel.: 233-28-67; Fax: (99532) 2332867; e-mail: avtandilamiranashvili@gmail.com;  
geophysics.transactions@tsu.ge

**Address of The Editorial and Publishing Board:**

M. Nodia Institute of Geophysics, 1 Alexidze Str., 0160 Tbilisi, Georgia  
Tel.: 233-28-67; Fax: (99532) 2332867; e-mail: avtandilamiranashvili@gmail.com;  
geophysics.transactions@tsu.ge

**Адрес редакционно-издательского совета:**

Грузия, 0160, Тбилиси, ул. Алексидзе, 1. Институт геофизики им. М. З. Нодиа  
Тел: 233-28-67; Fax: (99532) 2332867; e-mail: avtandilamiranashvili@gmail.com;  
geophysics.transactions@tsu.ge

**ელექტრონული ვერსიის მისამართი**

The address of electronic version

Адрес электронной версии

<https://scholar.google.com/citations?user=EdMkYoYAAAAJ&hl=en>

<http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/254>

დაიბეჭდა თსუ გამომცემლობის სტამბაში

Published by TSU Press

Напечатано в типографии ТГУ

0178 Tbilisi, ილია ჭავჭავაძის გამზირი 1

1 Pira Chavchavadze Avenue, Tbilisi 0178

0178 Тбилиси, просп. И.Чавчавадзе, 1

Tel 995 (32) 225 14 32

დამკაზადონებელი ლალი კურდღელაშვილი

გარეკანის დიზაინერი მარიამ ებრალიძე

Typesetter Lali Kurdghelashvili

Cover Designer Mariam Ebralidze

© ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2025

Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, 2025

Издательство Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили, 2025

ISSN 1512-1135

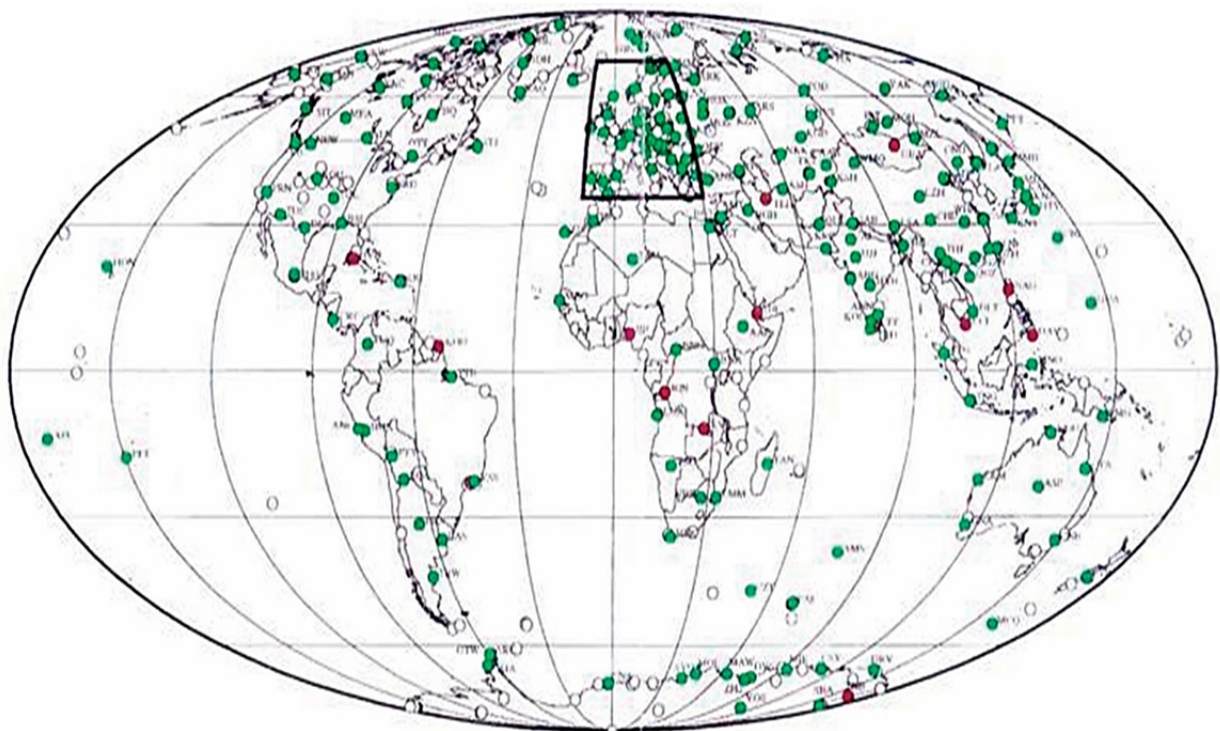
## დუშეთის (თბილისის) მაგნიტურ ობსერვატორიაში დაფიქსირებული დედამიწის მაგნიტური ველის საუკუნეობრივი ვარიაციები (1880-2025 წწ.)

გოგუა რ., მათიაშვილი თ.

*ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი*

### შესავალი

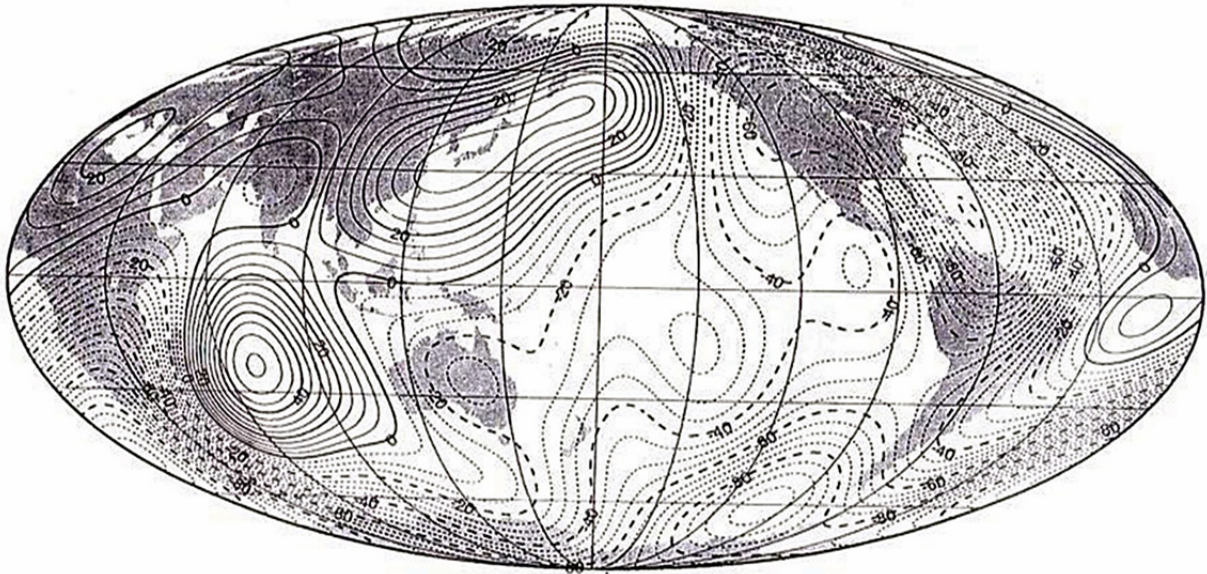
დედამიწის შიგნით მიმდინარე ფიზიკური პროცესების ასახსნელად ერთ-ერთი მთავარი ინსტრუმენტია დედამიწის მაგნიტური ველის საუკუნეობრივი ვარიაციები. როგორც კვლევებმა აჩვენა, საუკუნეობრივი ვარიაციების სარწმუნო წყაროს დადგენას სჭირდება დედამიწის ზედაპირზე თანაბრად განაწილებული ობსერვატორიების ქსელის ხანგრძლივი პერიოდის ინფორმაცია. სურ. 1-ზე წარმოდგენილია 1995 წლისათვის მსოფლიოში მოქმედი ობსერვატორიების რუკა, სადაც დაფიქსირებულია დუშეთის (თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორია.



სურ. 1. მსოფლიოში 1994 წლამდე მოქმედი მაგნიტური  
ობსერვატორიები აღნიშნულია მწვანე ფერით.

დღეისათვის მსოფლიოში რეგულარული ობსერვატორიული დაკვირვებები 150-200 წელს ითვლის, რაც არ არის საკმარისი სარწმუნო დასკვნების გამოსატანად. თუმცა, არსებული ინფორმაციის ანალიზით დედამიწის სხვადასხვა რეგიონში გამოვლინდა საუკუნობრივი ვარიაციები, პერიოდით 58წ., ხოლო არქეოლოგიური მასალით ვარიაციები 450, 600, 1800 და 8000 [1]. გარდა ამისა, დადგენილია, რომ საუკუნობრივი ვარიაციები მუდმივად იცვლება, როგორც დროში, ისე სივრცეში, ამასთან ერთად, იგი იცვლის ნიშანს და აქვს ტენდენცია დასავლეთის დრეიფის [2].

საუკუნობრივი ვარიაციების ამჟამად არსებულ რუკებზე მკაფიოდ ფიქსირდება ვარიაციების რამდენიმე ფოკუსი (იხ. სურ. 2).



სურ. 2. დედამიწის მაგნიტური ველის  $F$  მდგენელის ვარიაციები 1995 წლის ეპოქისათვის.

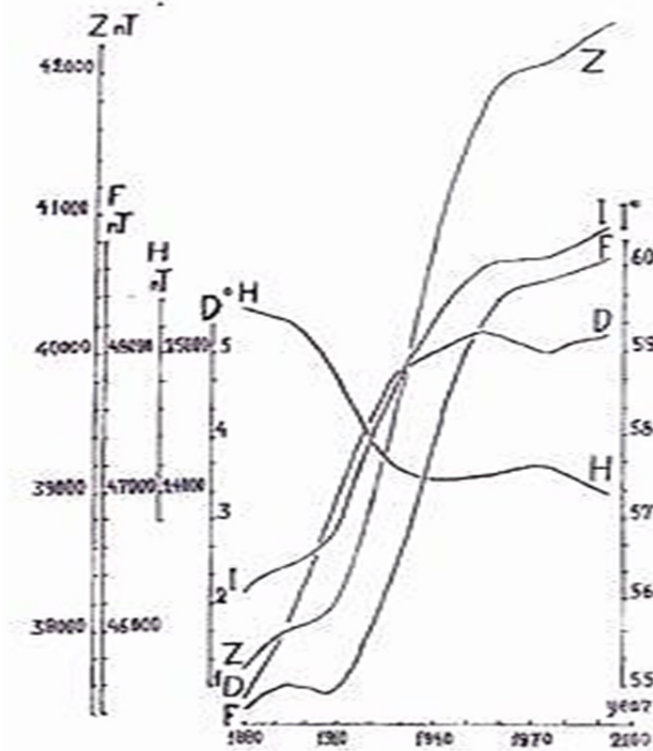
გამომდინარე იქიდან, რომ მაგნიტური ობსერვატორიები დედამიწის ზედაპირზე თანაბრად არაა განაწილებული, ვერ ხერხდება მთელი დედამიწის ფართზე თანაბარი მასშტაბის ინფორმაციის მიღება. ამ ნაკლის შევსება ზოგიერთმა ქვეყანამ დაიწყო მაგნიტური ველის დაკვირვებით განმეორებით პუნქტებში, სადაც დაკვირვებები ტარდებოდა ყოველ 4-5 წელში ერთხელ.

ანალოგიური დაკვირვებები ჩაატარეს საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტის გეომაგნეტიზმის და მაგნიტური ძიების განყოფილების და დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიის თანამშრომლებმა 1965, 1969 და 1974 წლებში, კავკასიის ტერიტორიაზე 14 პუნქტში: სარფი, ქობულეთი, ივანდიდი ანაკლია, ბალმარანი, პრიმერნი, ტუაფსე, ასტარა, ნახიჩევანი, ნეფთეჰალა, ნიზოვია, დერბენტი, მახაჩკალა, დუშეთი.

საექსპედიციო სამუშაოებს 1965, 1969 წლებში ხელმძღვანელობდა განყოფილების გამგე, ქალბატონი ნ. კაციაშვილი, ხოლო 1974 წელს წინამდებარე სტატიის ავტორი. მიღებული შედეგები დაედო საფუძვლად კავკასიის ტერიტორიის საუკუნობრივი ვარიაციების რუკას.

**დედამიწის მაგნიტური ველის ვარიაციები თბილისი, კარსანი, დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიების მონაცემების მიხედვით (1880-2025 წწ.)**

სურ 3.-ზე წარმოდგენილია დუშეთის (თბილისის) მაგნიტურ ობსერვატორიაში ბოლო 140 წლის პერიოდში დაფიქსირებული დედამიწის მაგნიტური ველის  $F$ ,  $Z$ ,  $D$ ,  $H$ ,  $I$  მდგენელების საუკუნეობრივი ვარიაციები (ავტორი რ. გოგუა).



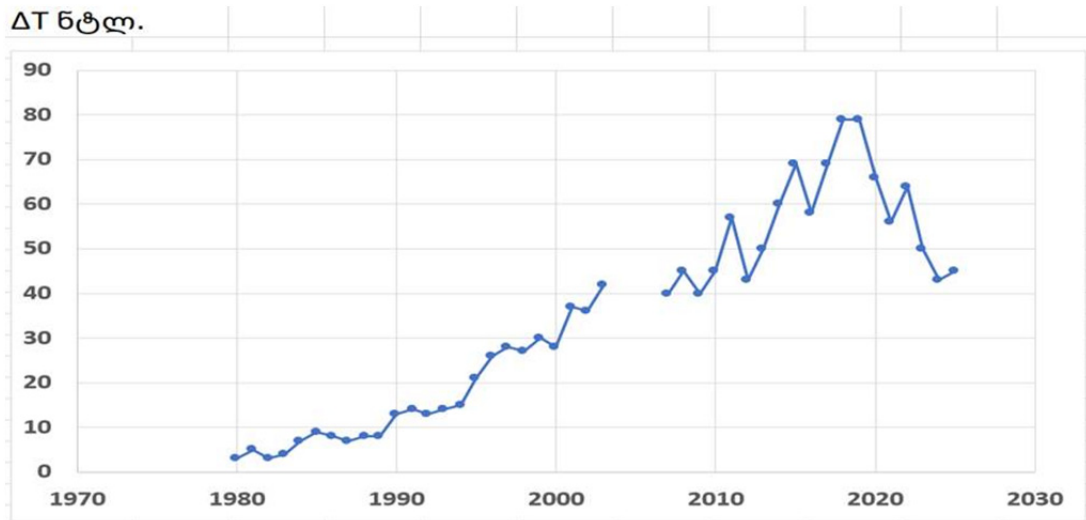
სურ. 3. დუშეთის (თბილისის) მაგნიტურ ობსერვატორიაში, ბოლო 140 წლის განმავლობაში დაფიქსირებული დედამიწის მაგნიტური ველის  $F$ ,  $Z$ ,  $D$ ,  $H$ ,  $I$  მდგენელების საუკუნეობრივი ვარიაციები.

როგორც სურათიდან ჩანს, დედამიწის მაგნიტური ველი 140 წლის განმავლობაში, კავკასიის ტერიტორიაზე, მნიშვნელოვნად შეიცვალა. მაგალითად: მაგნიტური ველის  $F$  მდგენელი 1880 წელს იყო 45000 ნტლ 2025 წელს გახდა 50050 ნტლ.  $F$  მდგენელი გახდა 5050 ნტლ.  $Z$  – მდგენელი იგივე პერიოდში შეიცვალა 6247 ნტლ-ით,  $D$  – 6°-ით,  $I$  – მდგენელი 11°-ით,  $H$  – მდგენელი შემცირდა 1570 ნტლ-ით.

სურათზე მკაფიოდ ჩანს მაგნიტური ველის ცვლილების რამდენიმე პერიოდი, რადროსაც მაგნიტური ველის სიდიდის და აჩქარების მიხედვით ერთმანეთისაგან განსხვავებულია. ეს პერიოდებია 1880-1910, 1910-1960 და 1960-2020 წწ.

მაგნიტური ველის ვარიაციების ზრდა-აჩქარება კარგად გამოჩნდა უფრო დეტალურ სურათზე 4. სურათზე მკაფიოდ გამოიყოფა მაგნიტური ველის  $F$  მდგენელის ცვლილების (აჩქარების) სამი პერიოდი. პირველი დასაწყისიდან 1994 წლამდე (ნორმალური ვარიაციები), მეორე 1994-2019 წელი (ანომალური ვარიაციები) და მესამე 2019-2025წ. (ანომალური ვარიაციების სწრაფი შემცირება).





სურ. 4. დედამიწის მაგნიტური ველის  $F$  მდგენელის საუკუნეობრივი ვარიაციები 1980-2025 წლის პერიოდში

### დასკვნა

დუშეთის (თბილისის) მაგნიტურ ობსერვატორიაში დაფიქსირებული დედამიწის მაგნიტური ველის ყველა მდგენელმა მნიშვნელოვანი ცვლილება განიცადა. მაგნიტური ველის მთავარი მდგენელის ( $F$ ) (სურ. 4) 1880 წლიდან 1994 წლამდე მაგნიტური ველის ცვლილება არის ნორმალური, ხოლო 1994 წლიდან 2025 წლის ჩათვლით დაიკვირვება საუკუნეობრივი ვარიაციების ანომალური ზრდა. აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ 1994-2019 წლების დროს ვარიაციები გაიზარდა სწრაფად, როგორც სიხშირით, ისე ინტენსივობით, ხოლო 2019 წლიდან ვარიაციების ინტენსივობამ მნიშვნელოვნად იკლო, თუმცა დარჩა ისევ ანომალური.

გამომდინარე იქიდან, რომ ყველა ცნობილი მეცნიერი დედამიწის მაგნიტური ველის წყაროდ მიიჩნევს დედამიწის შიგნით მიმდინარე პროცესებს, ლოგიკურია ვიფიქროთ, რომ კავკასიის ტერიტორიაზე საუკუნეობრივი ვარიაციების ცვლილებები დაკავშირებულია დედამიწის შიგნით მიმდინარე ფიზიკური პროცესების აქტიურობის ცვლილებებთან.

### ლიტერატურა – References – Литература

1. Нечаев С.А. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. Иркутск, 2006 г., 140 с.
2. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Изд-во ЛГУ, 1978, 590 с.
3. Паркинсон У. Введение в геомагнетизм. Москва, изд-во Мир, 1986, 498 с.

### დუშეთის (თბილისის) მაგნიტურ ობსერვატორიაში დაფიქსირებული დედამიწის მაგნიტური ველის საუკუნეობრივი ვარიაციები

გოგუა რ., მათიაშვილი თ.

#### რეზიუმე

სტატიაში განხილულია დუშეთის (თბილისის) მაგნიტურ ობსერვატორიაში დაფიქსირებული დედამიწის მაგნიტური ველის საუკუნეობრივი ვარიაციები, 1880-2025 წლის პერიოდში. ვარიაციების თვისობრივი ანალიზის შედეგად გამოვლენილია ვარიაციების ნორმალური და ანომალური პერიოდები.

საკვანძო სიტყვები: გეომაგნეტიზმი, მაგნიტური ველი, საუკუნეობრივი ვარიაციები.

**SECULAR VARIATIONS OF THE EARTH'S MAGNETIC FIELD RECORDED AT THE  
DUSHETI (TBILISI) MAGNETIC OBSERVATORY DURING 1880-2025**

**Gogua R., Matiashvili T.**

**Abstract**

The article discusses the secular variations of the Earth's magnetic field recorded at the Dusheti (Tbilisi) Magnetic Observatory over the period 1880-2025. As a result of qualitative interpretation, normal and anomalous periods of these variations have been identified.

**Key words:** geomagnetism, magnetic field, secular variations.

**ВЕКОВЫЕ ВАРИАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ, ЗАФИКСИРОВАННЫЕ В  
МАГНИТНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ДУШЕТИ (ТБИЛИСИ)**

**Гогуа Р., Матиашвили Т.**

**Реферат**

В статье рассмотрены вековые вариации магнитного поля, зафиксированные в обсерватории Душети (Тбилиси) в периоде 1880-2025 гг. В результате качественного анализа выявлены нормальные и аномальные периоды.

**Ключевые слова:** геомагнетизм, магнитное поле, вековые вариации.

## $t_0$ -ის მეთოდის მოდიფიცირებული ვარიანტი

კიტოვანი დ.

*ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის  
მიხეილი ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი*

დედამიწის სიღრმული აგებულების დადგენა უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა ნავთობის, გაზის, მეტალური საბადოების ძიებისას, ჰიდროგეოლოგიური და რეგიონალური კვლევებისას. ამ დროს შეისწავლება დედამიწის სიღრმეში მდებარე ქანების ფიზიკური თვისებები, გამოვლინდება ლითოლოგიურ ფილებს შორის კონტაქტები, ტექტონიკური რღვევები, სხვადასხვა ჰორიზონტების ჩაწოლის სიღრმეები, გამოქარვის ზონის სიმძლავრე და სხვა.

ამ ამოცანების გადასაჭრელად გამოიყენება სხვადასხვა სეისმომეტრიული მეთოდი: არეკვლილ ტალღათა მეთოდი, საერთო სიღრმული წერტილის მეთოდი, გარდატეხილ ტალღათა კორელაციური მეთოდი, შენაცვლებითი ტალღების მეთოდი, ღრმა სეისმური ზონდირების მეთოდი.

ყველაზე უფრო დეტალური და ზუსტია არეკვლილ ტალღათა და საერთო სიღრმული წერტილის მეთოდები. თუმცა, ზოგიერთ შემთხვევაში მათი გამოყენებისას ვერ ხერხდება ამრეკლი საზღვრის დაზვერვა, თვითონ ამ საზღვრის სპეციფიკური მახასიათებლების გამო. ამრეკლი ჰორიზონტის ზუსტი დადგენის შემთხვევაშიც კი, შეისწავლება საზღვრის მხოლოდ გეომეტრია და არ გვაქვს ინფორმაცია ქვედა ჰორიზონტში სეისმური ტალღების გავრცელების სიჩქარეებზე

ღრმა სეისმური ზონდირებისა და შენაცვლებითი ტალღების მეთოდის დროს იკვლევენ ღრმა ჰორიზონტებს. მათი დეტალურობა და სიზუსტე შედარებით მცირეა გამოყენებული ტალღების დაბალი სიხშირის გამო.

მეთოდი, რომელიც ყველაზე უფრო სრულად საზღვრავს გარდამტეხი ზედაპირის გეომეტრიას, ჩაწოლის სიღრმეს და სხვადასხვა ფენებში სეისმური ტალღების გავრცელების სიჩქარეებს, არის გარდატეხილ ტალღათა კორელაციური მეთოდი. მაგრამ, ამ მეთოდის გამოყენებისას ზოგიერთ შემთხვევაში ვერ ხერხდება ზემოთდასახელებული ყველა ამოცანის გადაჭრა მაღალი სიზუსტით. ამის მიზეზია ორი რამ:

- 1) მეთოდის ფიზიკური საფუძვლების არასრული დამუშავება;
- 2) რთული რელიეფის პირობებში ყოველთვის ვერ ხერხდება მაღალი ხარისხის საველე მასალის მიღება.

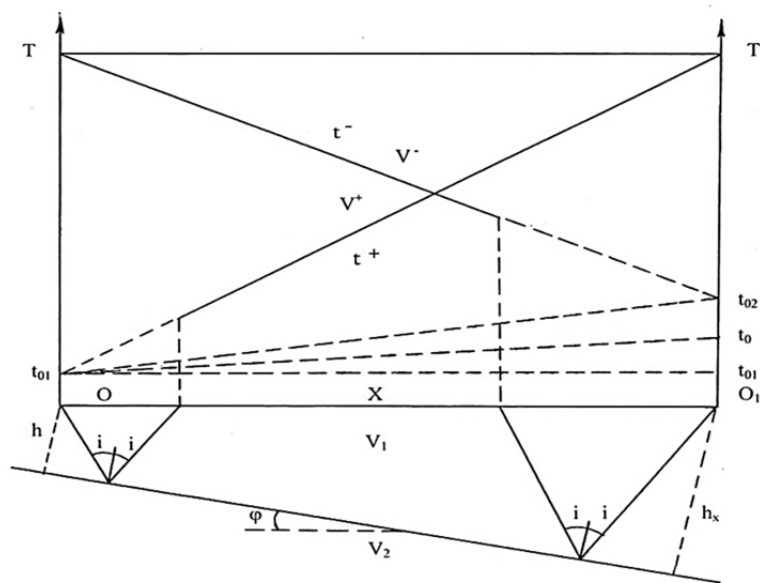
არსებობს მიღებული სეისმური მასალის დამუშავების სხვადასხვა მეთოდი, რომლებიც განსხვავდებიან სირთულით, შრომატევადობით და სეისმური საზღვრების აგების სიზუსტით.

გარდამტეხი საზღვრების აგების ერთ-ერთი მეთოდია  $t_0$ -ის მეთოდი. ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა საკმაო საიმედოობით და სიზუსტით განისაზღვროს გარდამტეხი ზედაპირი

რის ჩაწოლის სიღრმე, მისი გეომეტრია და სეისმური ტალღების გავრცელების სიჩქარეები. ამ მეთოდის გამოყენებისას საჭიროა გვექონდეს ჰოდოგრაფის ორივე შტო (პირდაპირი და შებრუნებული), დაკავშირებული ერთმანეთთან საერთო შეუღლებული T წერტილით.

ამ სტატიის ამოცანას შეადგენს ვაჩვენოთ, რომ ზემოთხსენებული სეისმური პარამეტრების განსაზღვრა შესაძლებელია სათანადო სიზუსტით და სანდოობით თუ გვაქვს ერთი სრული ჰოდოგრაფი, ხოლო საპირისპირო ჰოდოგრაფი არასრულია, მაგრამ იძლევა საშუალებას მის მიხედვით განვსაზღვროთ მოჩვენებითი სიჩქარე.

ვთქვათ გვაქვს ორფენიანი გარემო. დრეკადი ტალღების გავრცელების სიჩქარე დამფარავ ფენაში იყო  $V_1$ , ხოლო ქვედაში  $V_2$ . გარდამტეხი საზღვრის დახრის კუთხე აღვნიშნოთ  $\varphi$ -ით. პირდაპირი და შებრუნებული ჰოდოგრაფები შესაბამისად  $t^+$  და  $t^-$ -ით, ხოლო მათი საშუალებით გამოთვლილი საზღვრითი სიჩქარეები  $v^+$  და  $v^-$ ,  $h$  და  $h_x$  ექო სიღრმეები აფეთქების  $O$  და  $O_1$  პუნქტების ქვეშ.



ამ სიდიდეების მიხედვით გამოვთვალოთ  $t_{01}$ ,  $t_{02}$ , და  $t_0$

$$h_x = h + x \sin \varphi; \quad V^+ = V_1 / \sin(i + \varphi); \quad V^- = V_1 / \sin(i - \varphi);$$

$$t_{02} = 2(h + x \sin \varphi) \cos i / V_1 = 2h \cos i / V_1 + 2x \cos i \sin \varphi / V_1 = t_{01} + x / V_1 (2 \cos i \sin \varphi) =$$

$$= t_{01} + x / V_1 [\sin(i + \varphi) - \sin(i - \varphi)] = t_{01} + x / V^+ - x / V^- = t - x / V^-$$

ანალოგიურად  $t_{01} = t - x / V^+$

ახლა გამოვთვალოთ

$$t_0 = t - x / V_2 = t_{01} + x / V^+ - x / V_2 = 2h \cos i / V_1 + x \sin(1 + \varphi) / V_1 - x(V^+ + V) / (V^+ \cdot V) =$$

$$= 2h \cos i / V_1 + x \sin(1 + \varphi) / V_1 - x \sin i \cos \varphi / V_1 = 2h \cos i / V_1 + x \sin \varphi \cos i / V_1$$

გამოდის, რომ  $t_0 = 2h \cos i / V_1 + x \sin \varphi \cos i / V_1 = (t_{01} + t_{02}) / 2$

მივიღეთ ასეთი შედეგი: თუ გვაქვს ორი სრული ჰოდოგრაფი (პირდაპირი და შებრუნებული), იმისთვის, რომ ვიპოვოთ  $t_0$ , პირდაპირი ჰოდოგრაფი ( $t^+$ ) დამუშავდება მოჩვენებითი სიჩქარით, რომელიც გამოითვლება შებრუნებული ( $t^-$ ) ჰოდოგრაფის მიხედვით ( $V^-$ ) და პირიქით, შებრუნებული ჰოდოგრაფი დამუშავდება მოჩვენებითი სიჩქარით, რომელიც გამოითვლება პირდაპირი ( $t^+$ ) ჰოდოგრაფის საშუალებით ( $V^+$ ). საძიებელი  $t_0$  მიიღება ამ სიდიდეების გასაშუალებით.

თუ გვაქვს მხოლოდ ერთი სრული, ხოლო მეორე არასრული ჰოდოგრაფი, რომლის გამოყენებითაც დაითვლება მოჩვენებითი სიჩქარე, მაშინ შესაძლებელია გარემოს სეისმური პარამეტრების პოვნა.

ჩვენი აზრით ეს შედეგი მნიშვნელოვანია ისეთი ქვეყნისთვის, როგორც საქართველო, რომელიც ხასიათდება რთული რელიეფით, სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების სიმჭიდროვით, რის გამოც ყოველთვის ვერ ხერხდება სრულყოფილი სეისმური მასალის მიღება.

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Епинатьева А.М. Физические основы сейсмических методов разведки М., изд -во МГУ, 1970.
2. Гурвич И.И. Боганик Г.Н. Сейсмическая методов разведка М., изд -во Недра, 1980.
3. Гамбурцев Г.А. Основы сейсморазведки. М., Гостоптехиздат, 1959.

### $t_0$ – ის მეთოდის მოდიფიცირებული ვარიანტი

კიტოვანი დ.

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია ცნობილი მეთოდის  $t_0$ -ს მოდიფიცირებული ვარიანტი. ნაჩვენებია, რომ თუ გვაქვს ერთი სრული ჰოდოგრაფი, ხოლო მისი შემხვედრი ჰოდოგრაფი არასრულია, მაგრამ მისი საშუალებით შესაძლებელია მოჩვენებითი სიჩქარის გამოთვლა, მაშინ გვეძლევა საშუალება სავსაო სიზუსტით დავადგინოთ გარდამტეხი ზედაპირის ჩაწოლის სიღრმე და განვსაზღვროთ მისი პარამეტრები.

საკვანძო სიტყვები: სეისმომეტრია, გოდოგრაფი,  $t_0$  მეთოდი.

## THE MODIFIED VERSION OF $T_0$ METHOD

Kitovani D.

Abstract

The article refers to the modified variant of the well known method of  $t_0$ . It is shown that if there exists one complete hodograph and an oncoming hodograph is not complete, but with its help the apparent speed can be calculated. In this case it is possible to build the refractive border with adequate accuracy and to determine its parameters.

**Key words:** seismometry, hodograph,  $t_0$  method.

## МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД $T_0$

Китовани Д.

Реферат

В статье рассматривается модифицированный вариант известного метода  $t_0$ . Показано, что если имеется один полный годограф, а встречный годограф неполный, но с его помощью можно вычислить кажущуюся скорость, то в этом случае возможно с достаточной точностью построить преломляющую границу и определить ее параметры.

**Ключевые слова:** сейсмометрия, годограф, метод  $t_0$ .

## ESTIMATING QUANTILE FUNCTIONS IN TEMPORAL EARTHQUAKE ANALYSIS

<sup>1,2</sup>Sborshchikovi A., <sup>1</sup>Mepharidze E., <sup>1</sup>Chelidze T.

<sup>1</sup>*Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*

<sup>2</sup>*Business and Technology University, Tbilisi, Georgia*

a.sborshchikov@gmail.com

### Introduction

In recent decades, substantial research has deepened our understanding of the temporal behavior of seismic activity, consistent with contemporary views on the fractal organization of tectonic structures, fault networks, and hypocenter distributions. These studies emphasize that seismic processes are intrinsically complex and dynamic, often exhibiting “switching” or “shifting” patterns characterized by alternating periods of heightened and diminished earthquake occurrence. Despite these advances, the statistical properties and distributional features of inter-earthquake waiting times remain only partially resolved and, in several aspects, insufficiently explored [1-3]. This gap underscores the need for further investigation aimed at modeling and quantifying the temporal structure of seismicity using more sophisticated statistical tools.

Within modern statistics, the moment problem plays a central role and has extensive applications in mathematics, quantitative finance, economics, and insurance. Although the problem has been studied for more than three centuries, it continues to stimulate significant mathematical interest [4-6]. In this work, we consider the task of approximating and estimating the quantile function under the assumption that the statistical moments are known [7].

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

### Material and methods

A range of nonparametric strategies for quantile function estimation has been proposed, including order-statistic methods examined by Harrell and Davis [8] and Bernstein polynomial-based approaches studied by Bolancé et al. [9] and Brewer [10].

The distinct contribution of this work is its applicability to cases where the underlying distribution is poorly known and only statistical moments are available, offering greater flexibility for modeling limited or incomplete data.

Here, we combine the analysis of earthquake waiting times with modern computational methods for quantile-function approximation. Both linear and nonlinear approaches are applied to investigate the temporal distributional patterns. Using waiting-time series from multiple seismic sources, we seek to identify key features of the temporal behavior of seismicity.

To address these challenges, we employ advanced statistical and computational techniques within a custom software framework. Three moment-based models are evaluated for quantile function estimation: one based on frequency moments, another on traditional moments, and a third using transposition moments.

## Results

For the analysis of inter-event times (waiting times), we employed data from the Southern California Seismic Catalog (<http://www.data.scec.org/ftp/catalogs/>). In particular, records from the Southern California Local Earthquake Catalog were utilized, covering the period from 1932 to 2013. This catalog is considered highly dependable due to its nearly uninterrupted data acquisition throughout the entire observation window.

The dataset was processed using custom software developed at the M. Nodia Institute of Geophysics, Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, which enabled the extraction of waiting times between successive earthquake occurrences. Using these waiting-time sequences, we generated an approximate quantile-function estimate based on the first model and compared the obtained results with the well-known Harrell-Davis estimator.

Our current catalog looks like this (Fig. 1):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	LONG	LAT	Year	Month	Day	MAG	DEPTH	Hour	Min
2	-115.571	32.552	1975	1	9	2.98	15.7	20	13
3	-115.51	32.673	1975	1	10	2.97	6	20	9
4	-115.234	32.431	1975	1	20	2.78	6	9	25
5	-115.191	32.27	1975	1	27	2.87	6	3	29
6	-115.174	32.454	1975	1	29	2.75	6	2	54
7	-115.476	32.188	1975	2	23	4.26	6	19	7
8	-115.519	32.215	1975	2	27	2.73	6	10	43
9	-115.078	32.219	1975	3	14	2.79	6	14	36
10	-115.037	32.43	1975	3	14	2.78	6	14	58
11	-115.104	32.283	1975	3	14	2.83	6	15	17
12	-115.129	32.318	1975	3	14	2.84	6	15	56
13	-115.103	32.332	1975	3	14	2.86	6	16	5
14	-115.149	32.322	1975	3	14	2.96	6	16	9
15	-115.101	32.343	1975	3	14	2.74	6	16	14
16	-115.232	32.513	1975	3	15	2.86	6	11	46
17	-115.257	32.516	1975	3	16	2.68	6	0	55
18	-115.266	32.455	1975	3	16	2.82	6	3	44
19	-115.086	32.331	1975	3	26	2.75	6	15	56
20	-115.722	32.493	1975	4	5	2.6	3.6	12	29
21	-115.738	32.504	1975	4	6	2.74	5.5	15	48
22	-115.748	32.476	1975	4	6	2.94	1.2	16	59
23	-115.059	32.16	1975	4	28	2.77	6	2	25
24	-114.877	32.28	1975	4	28	2.88	6	2	32
25	-114.845	32.19	1975	4	28	3.07	6	2	49
26	-114.844	32.196	1975	4	28	2.98	6	9	53

Fig. 1. Example of a working catalog.

After that, using a special program created at the M. Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, we extract the waiting time between earthquakes from this catalog. The resulting file has the following appearance (Fig. 2):

```
3834
952
321
201
232
75
87
724
827
564
287
3308
3612
1790
343
218
```

Fig.2. Waiting time data.

The next step in the research is to estimate the quantile function for the first model based on these data and compare it with the well-known Harrell Davis estimate. For this, we use the following formulas:

The subsequent analysis is conducted according to the formulations presented below.

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

$$Q_{a,\hat{s}}^-(x) = \sum_{k=a-[ax]}^a \sum_{j=k}^a \binom{a}{j} \binom{j}{k} (-1)^{j-k} \sum_{i=1}^n \Delta X_{(i)} \left( \frac{n-i+1}{n} \right)^j$$

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

The behavior for different parameters for the first model will be as follows (Fig.3, Fig. 4).

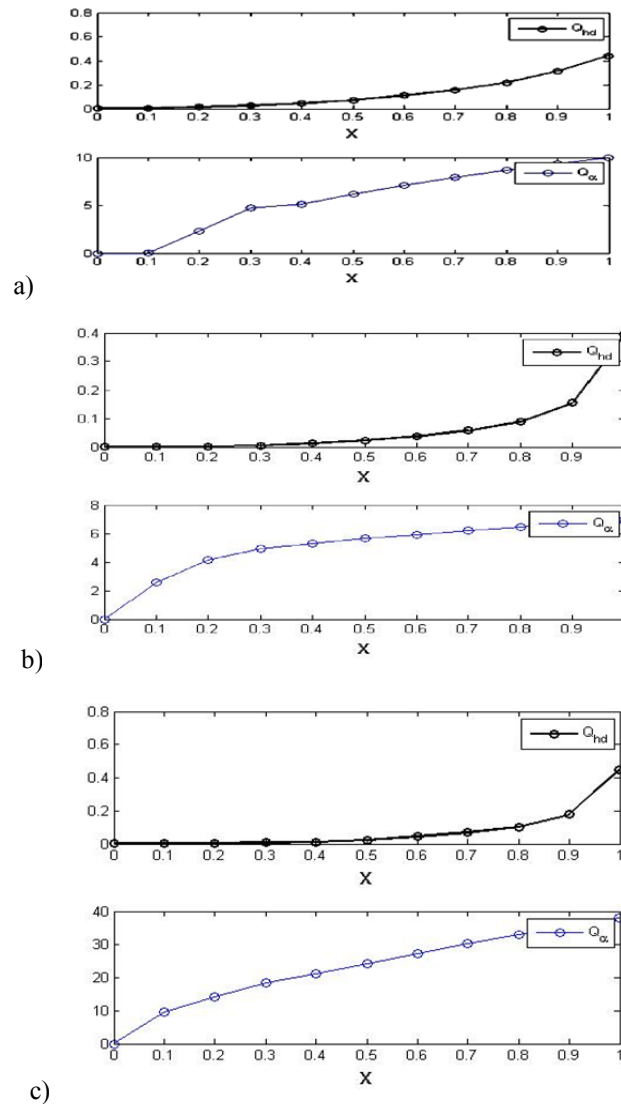


Fig. 3. Comparison of estimates of Harrell Davis and the first model (frequency moments) for the waiting time when a)  $\alpha = 20, n = 100$  ; b)  $\alpha = 50, n = 100$  ; c)  $\alpha = 100, n = 100$  .



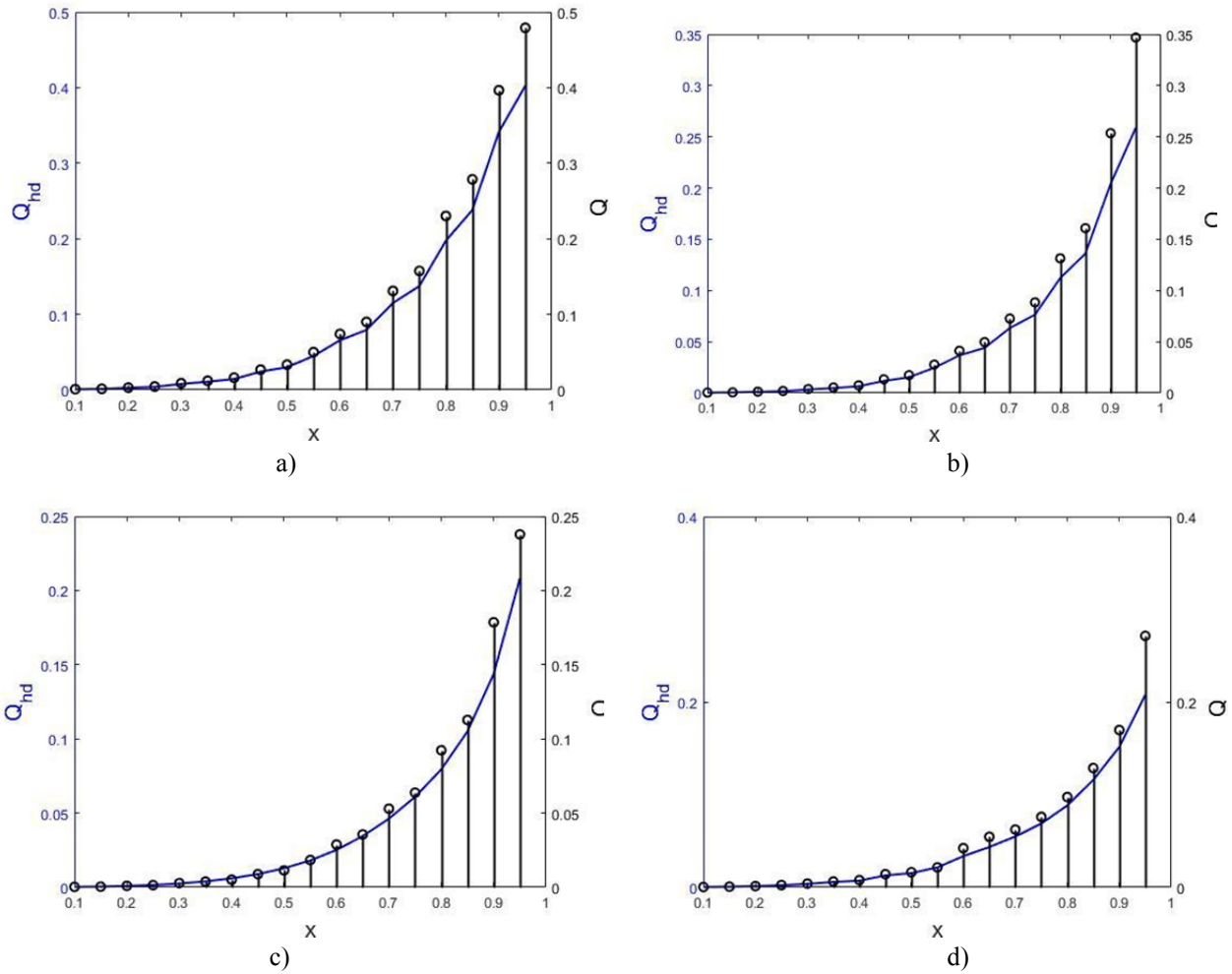


Fig. 4. Harrell Davis estimate for time intervals between earthquakes. Blue curve, black dots estimate of the quantile function, both cases a)  $\alpha = 30, n = 100$ ; b)  $\alpha = 30, n = 200$ ; c)  $\alpha = 30, n = 500$ ; d)  $\alpha = 40, n = 200$ . Southern California Catalog.

Modified versions of the quantile and quantile density function approximations were also considered. The paper presents graphical representations that show that the modified version has a better approximation compared to the conventional model. The robustness theorems were proven, which give us the convergence rate. Modified versions of the approximations were also introduced, whose behavior is better than the original models.

There are several methods for nonparametric estimation of the quantile function. Let us highlight a few, for example, the estimate presented in the paper by Harrell, Davis is a weighted sum of ordinal statistics.

Let us give a graphical representation of the behavior of estimating a quantile and a quantile density function.

Below we can see graphical images of comparison of the quantile function approximation with the Harrell-Davis model (Fig. 5).

The above images show that as  $n$  increases, the error decreases. The data allows us to select optimal  $\alpha$  values.

At the same time, for comparison, we have done the approximation for various worldwide earthquake catalogues (Kyrgyzia, Caucasus and Greece). The results of our analysis is given below (Fig.6, Fig. 7):

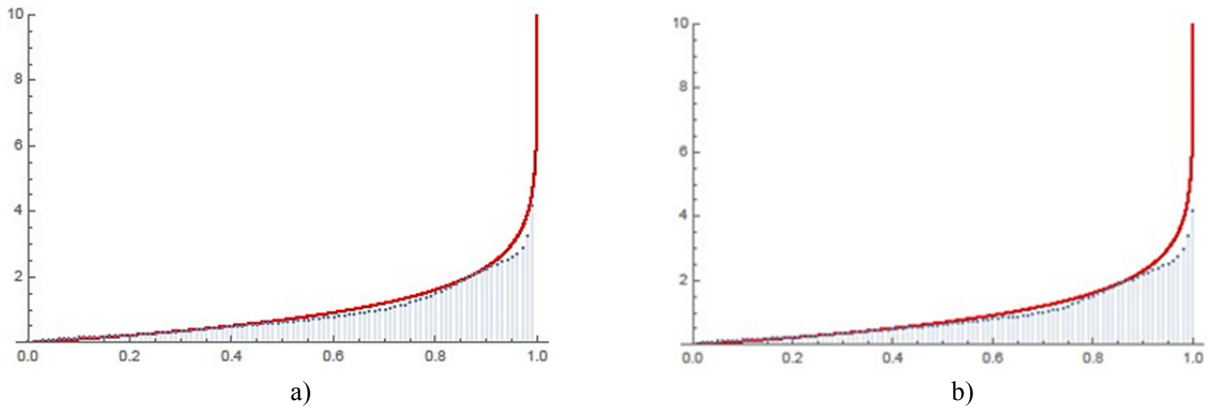


Fig. 5. Red curve: theoretical quantile function Blue points: approximation of the quantile function by the Harrell-Davis model: a)  $n=300$ ; b)  $n=200$ .

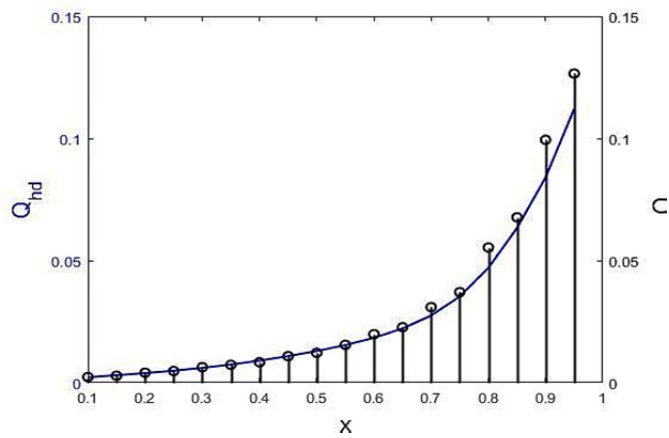


Fig. 6. Approximation of Harrell-Davis model blue curve and our model black points for Kyrgyzia earthquake catalogue here  $\alpha = 30$ ;  $n = 300$ .

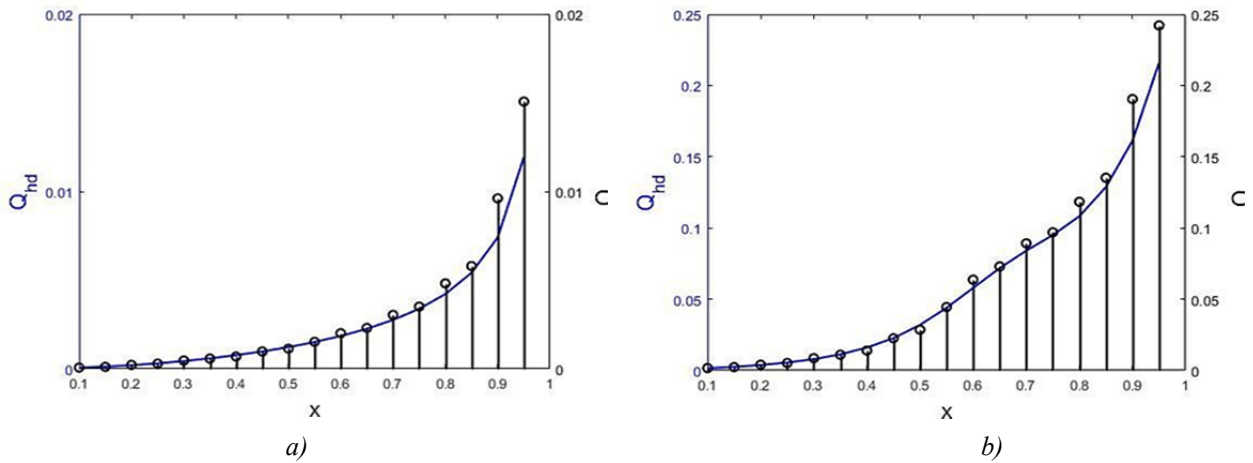


Fig.7. Approximation of Harrell-Davis model blue curve and our model black points for a) Caucasus and b) Greece earthquake catalogues in both cases  $\alpha = 30$ ;  $n = 300$ .

The results of this study deepen our understanding of seismic behavior and, importantly, provide a foundation for future investigations aimed at clarifying the mechanisms that lead to major earthquakes.

It is worth noting the application of the approach to seismological data. In the paper, based on data from earthquake catalogs of various regions, the time intervals between earthquakes were calculated, and based on the obtained waiting times, arrays were created and the approaches proposed in the paper were applied, and compared with the well-known Harrell-Davis model.

## Conclusion

This work analyzes the time intervals between earthquake occurrences using selected datasets to approximate and estimate the quantile function. The proposed methodology has broad applicability, extending to disciplines such as financial mathematics, economics, and insurance. Adopted within a global framework, the study addresses key challenges shared across numerous scientific fields. Its contributions are both theoretical and practical: improving knowledge of the temporal distribution of earthquakes is essential for assessing seismic hazard and for advancing our understanding of the fundamental processes governing earthquake generation.

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

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., Intervent 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.
- 11.

## ESTIMATING QUANTILE FUNCTIONS IN TEMPORAL EARTHQUAKE ANALYSIS

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

### Abstract

This work introduces a new framework for estimating and approximating quantile and quantile-density functions based exclusively on known statistical moments. These moments are computed from the waiting times between consecutive earthquakes documented in global seismic catalogs. Three moment-based approximation schemes—frequency moments, classical moments, and transposition moments—are examined to assess their performance. In contrast to traditional methodologies, the proposed approach requires only moment information, providing a streamlined yet reliable strategy for quantile function estimation.

**Key Words:** Earthquake, Waiting time, Quantile function.

## დროითი მიწისძვრის ანალიზით კვანტილის ფუნქციების შეფასება

სბორშიკოვი ა., მეფარიძე ე., ჭელიძე თ.

### რეზიუმე

ნაშრომში წარმოდგენილია კვანტილის და კვანტილის სიმკვრივის ფუნქციების შეფასების და მიახლოებითი დაანგარიშების ახალი ჩარჩო, რომელიც დაფუძნებულია მხოლოდ ცნობილ სტატისტიკურ მომენტებზე. ეს მომენტები გამოითვლება გლობალურ სეისმურ კატალოგებში დოკუმენტირებული თანმიმდევრული მიწისძვრების მოლოდინის დროების მონაცემებიდან. მათი ეფექტურობის შესაფასებლად განხილულია სამ მომენტზე დაფუძნებული მიახლოების სქემა – სიხშირის მომენტები, კლასიკური მომენტები და ტრანსპოზიციის მომენტები. ტრადიციული მეთოდოლოგიებისგან განსხვავებით, შემოთავაზებული მიდგომა მოითხოვს მხოლოდ მომენტის ინფორმაციას, რაც უზრუნველყოფს კვანტილის ფუნქციის შეფასების გამარტივებულ, მაგრამ საიმედო სტრატეგიას.

**საკვანძო სიტყვები:** მიწისძვრა, მოლოდინის დრო, კვანტილის ფუნქცია.

## ОЦЕНКА ФУНКЦИИ КВАНТИЛЯ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ВО ВРЕМЕНИ

Сборщиков А., Мепаридзе Е., Челидзе Т.

### Реферат

В статье представлена новая методика оценки и аппроксимации функций квантилей и функций плотности распределения квантилей, основанная только на известных статистических моментах. Эти моменты рассчитываются на основе времени ожидания последовательных землетрясений, документированных в глобальных сейсмических каталогах. Для оценки их эффективности рассматриваются три схемы аппроксимации на основе моментов: частотные моменты, классические моменты и транспозиционные моменты. В отличие от традиционных методологий, предлагаемый подход требует только информации о моментах, что обеспечивает упрощенную, но надежную стратегию оценки функции квантиля.

**Ключевые слова:** Землетрясение, Время ожидания, Функция квантиля.

## ნინოწმინდის სამონასტრო კომპლექსის ტერიტორიის არქეოგეორადიოლოკაციური კვლევა

ოდია დავითი დ., ჭელიძე თ., ღლონტი ნ., ქირია ჯ., იავოლოვსკაია ო.

*ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის  
მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი  
odildavit@gmail.com*

### შესავალი

საქართველო – კახეთი, საგარეჯო, ნინოწმინდის სამონასტრო კომპლექსი.

ნინოწმინდის ტაძარი VI საუკუნის საყურადღებო ძეგლია. ამენებულია წმინდა ნინოს დროსვე ძველ საკერპო ადგილას [1, 2].

ნინოწმინდის კომპლექსური გეოფიზიკური ექსპედიციის ფარგლებში ჩატარდა არქეოგეორადიოლოკაციური სამუშაო, გეორადარ Zond -12e, 500 მმც ეკრანირებული და 150 მმც დიპოლური სამტატო ანტენების გამოყენებით. [3, 4, 5, 6]. გეორადიოლოკაციური მონაცემები მოიკრიბა, დამუშავდა და ინტერპრეტირდა სამტატო პროგრამული უზრუნველყოფით Prizm 6. გეორადიოლოკაციური პროფილები გატარდა მონასტრის შიგა ეზოსა და საკუთრივ მონასტრის ტერიტორიაზე.

### პრობლემა/ამოცანა



ფოტო 1. ნინოწმინდის ტაძრის ნარჩენი კედლები და შემოგარენი კომპლექსის ტერიტორიაზე.

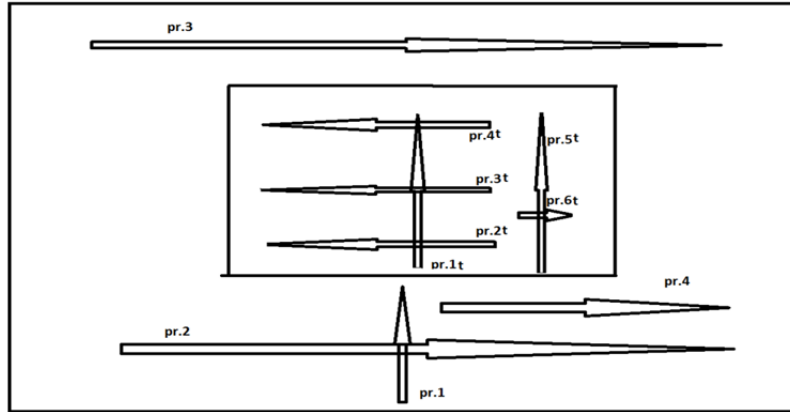


ფოტო 2. ნინოწმინდის ტაძრის ნარჩენი კედლები და შიდა ტერიტორია.

დიდი გუმბათქვეშა სივრცის შესაქმნელად ცენტრალური კვადრატის კუთხეებში ოთხ აფსიდს შორის დიაგონალურ ღერძებზე თითო დამატებითი მცირე სადგომია ჩასმული. გარედან ტაძარი გეგმით ვარსკვლავისებრი ნაგებობა იყო, სიდიდის მიხედვით მონაცვლეობით განლაგებული ნახევარწრიული მოხაზულობის შვერილი აფსიდებით. მხოლოდ საკურთხევლის აფსიდს შუა ნაწილში, სადაც სარკმლებია გაჭრილი, აქვს წახნაგოვანი ფორმა. შენობა წარმოადგენდა ტეტრაკონქის განვითარებულ სახეს და ჯვრის ტიპის ძეგლ-

თა უშუალო წინამორბედს. ტაძარი მრავალჯერ შეუკეთებიათ საფუძვლიანად (XI-XII სს., XVI ს.). დაინგრა 1824 და 1848 წლების მიწისძვრების დროს.

ნინოწმინდის კომპლექსის ტერიტორიაზე ჩატარებული არქეოგეორადიოლოკაციური პროფილების განთავსების სქემატური ნახაზი 1.



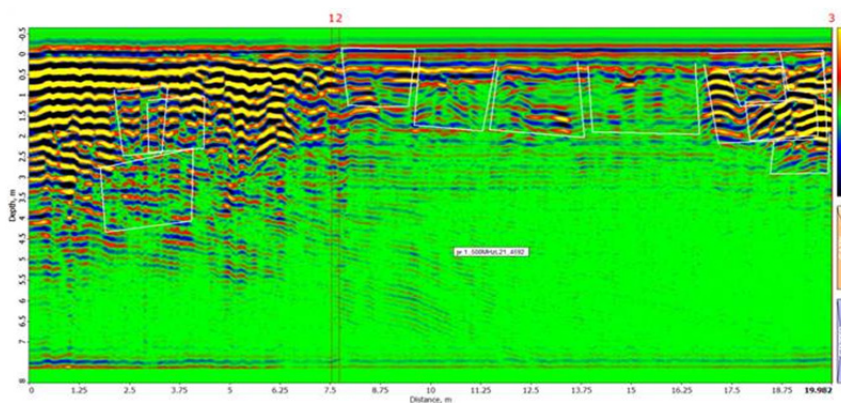
სქემატური ნახაზი 1.

მცირე მართკუთხედი შეესაბამება ტაძრის ტერიტორიას, ხოლო დიდი მართკუთხედი შეესაბამება ტაძრის ეზოს. ისრებით ნაჩვენებია გატარებული გეორადიოლოკაციური ჭრილების დაახლოებითი მიმართულებები.

გამოყენებულია გეორადარი Zond-12e, საშტატო პროგრამული უზრუნველყოფა Prizm-2.6.

გეორადიოლოკაციური ჭრილები გატარდა 500მჰც ეკრანირებული და დიპოლური 150მჰც ანტენებით, ტაძრის გარეთა და შიდა ტერიტორიებზე გამოიყო სამი უბანი.

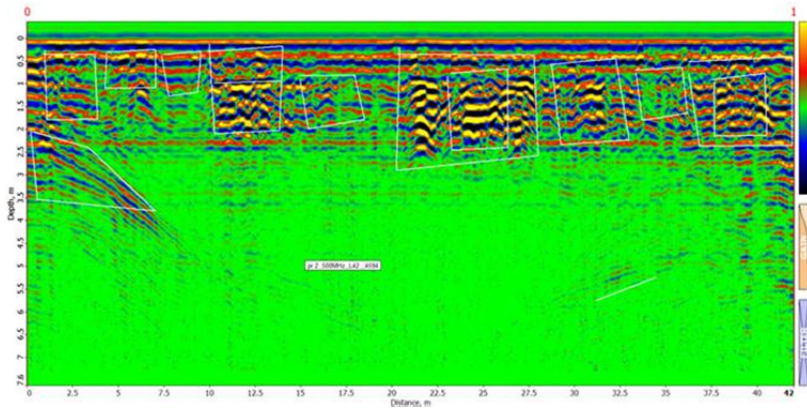
მოგვყავს ნინოწმინდის ტაძრის ეზოს ტერიტორიაზე, უბანი-1, გატარებული გეორადიოლოკაციური ჭრილების რადაროგრამები 500მჰც ანტენის გამოყენებით 7-8 მეტრი დაღრმავებებისთვის. ამასთან, პროფ. 1 და პროფ. 2 ერთმანეთს კვეთენ დაახლოებით 10მ დისტანციაზე პროფ. 1 და 17მ დისტანციაზე, პროფ. 2 თვის.



ნახ. 1. პროფ-1, შესრულდა 500მჰც ეკრანირებული საშტატო გეორადარული ანტენით. პროფილის სიგრძე – 21მ.

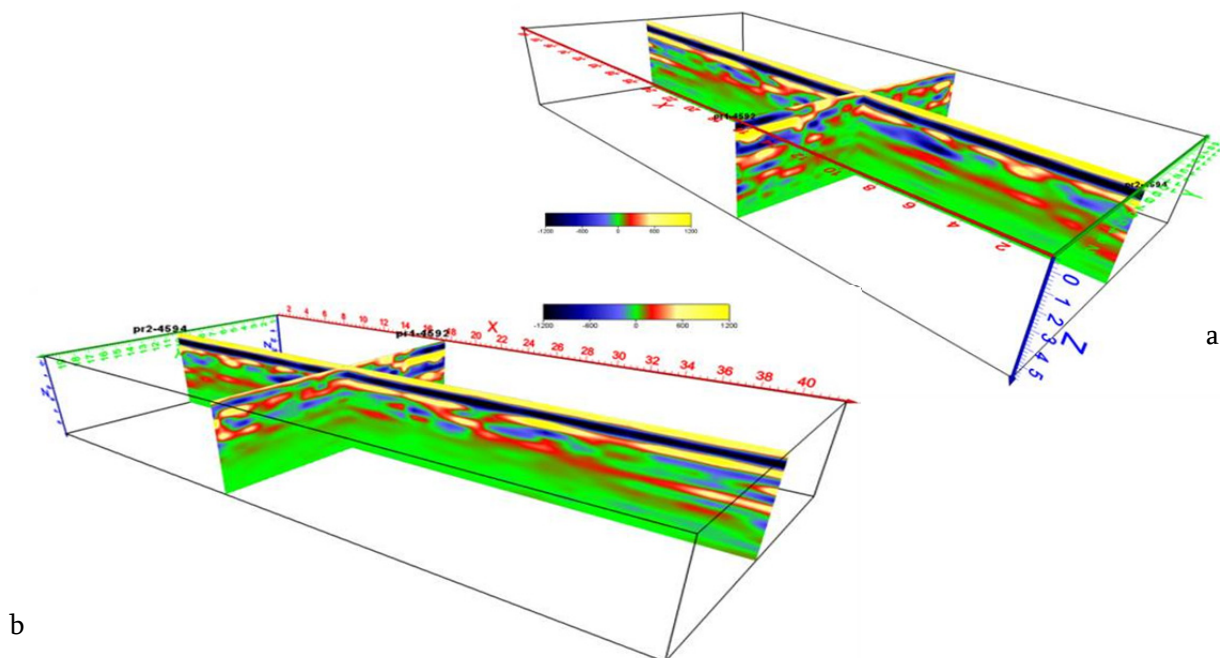
ნახ.1 წარმოდგენილ რადაროგრამაზე თეთრი წირებით მონიშნულია სიღრუსის შემცველი ვერტიკალური, ურთიერთ პარალელური ზედაპირების შემცველი ობიექტების რადიოსახეები, [7, 8, 9, 10], სავარაუდოდ ანტროპოგენული წარმოშობის მაგ. სამაროვანი, მიწისქვეშა სათავსი, და სხვა. ობიექტების რადიოსახეები, მათ შორის კონსტრუქციულად რთუ-

ლი აგებულების, რადაროგრამაზე განლაგებულია დისტანციებზე: 2-5მ, 6-9მ, 9-16მ. დისტანციებზე 17-20მ, მონიშნა მძლავრი ამრეკლადობის მასალისგან აშენებული რთული სტრუქტურის შემცველი (17-18.75მ) სიღრუე. ამ ობიექტის რადიოსახე მარჯვენა მხარით ეყრდნობა ასევე სიღრუის შემცველი ობიექტის რადიოსახეს. სამი მეტრის ქვევით, დისტანციებზე 1.25-6.5მ ასევე მონიშნა დეფორმირებული, სავარაუდოდ ანტროპოგენული წარმოშობის ობიექტის რადიოსახე.



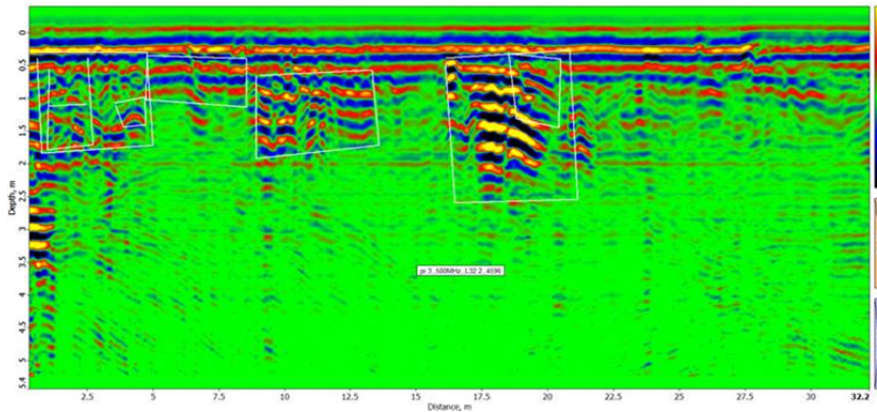
ნახ. 2. პროგ. 2, შესრულდა 500მჰც ეკრანირებული საშტატო გეორადარული ანტენით. პროფილის სიგრძე -42მ.

ნახ. 2 წარმოდგენილ რადაროგრამაზე თეთრი წირებით მონიშნულია სიღრუის შემცველი ვერტიკალური, ურთიერთ პარალელური ზედაპირების შემცველი ობიექტების რადიოსახეები, სავარაუდოდ ანტროპოგენული წარმოშობის, მაგ. სამაროვანი, მიწისქვეშა სათავსი და სხვა. ობიექტების რადიოსახეები, მათ შორის კონსტრუქციულად რთული აგებულების, რადაროგრამაზე განლაგებულია დისტანციებზე: 10-15მ, 21-27მ. ასევე მძლავრი ამრეკლადობის მასალისგან აშენებული რთული, თაღური სტრუქტურის შემცველი 38-40მ სიღრუე. 2მ დაღრმავებაზე, დისტანციებზე 0-5მ ასევე მონიშნა საძირკვლის ნაწილის ტიპის ობიექტის რადიოსახე.



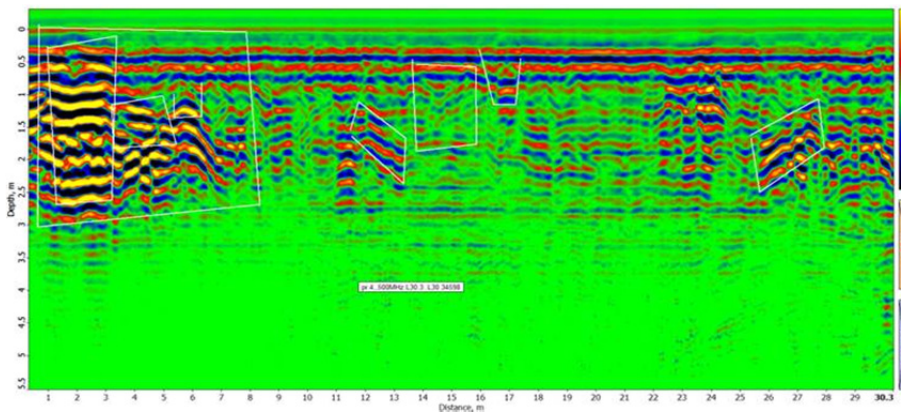
ნახ. 3 a-b. პროგ. 1-2, 500Mhz. 3D (Voxler-ში გაუსის ოპციის) შებრუნებული რაკურსით.

ნახ.3ა-ბ, პროფ.1, 2 – 3D ორივე რაკურსში მკაფიოდ იკითხება პროფილთა გადაკვეთის დერძზე სტრუქტურირებული სიღრუის არსებობა, ასევე, იკვეთება მძლავრი ამრეკლავი ობიექტების ლოკაცია პროფ. 1 საწყისთან და სასრულ მონაკვეთებთან, რომელნიც შეიცავენ სტრუქტურირებულ სივრცეებს.



ნახ. 4. პროფ-3, შესრულდა 500მპკვ ეკრანირებული საშტატო გეორადარული ანტენით. პროფილის სიგრძე -32მ.

ნახ.4 წარმოდგენილ რადაროგრამაზე თეთრი წირებით მონიშნულია სიღრუის შემცველი ვერტიკალური და დეფორმირებული, ურთიერთ პარალელური ზედაპირების შემცველი ობიექტების რადიოსახეები, სავარაუდოდ ანტროპოგენული, წარმოშობის განლაგებული ერთმანეთზე მაგ. სამაროვანი, ობიექტების რადიოსახეები, მათ შორის კონსტრუქციულად რთული აგებულების, რადაროგრამაზე განლაგებულია დისტანციებზე: 1-5მ, 10-12მ. დისტანციებზე 17-20მ, მოინიშნა მძლავრი ამრეკლადობის მასალისგან აშენებული რთული ღრუ, გადაფარვით, სტრუქტურის შემცველი (17-18მ) სიღრუე. ამ ობიექტის რადიოსახე მარჯვენა მხარით დაძრული და დეფორმირებულია. სამი მეტრის ქვევით, დისტანციებზე 0-1მ ასევე, მოინიშნა ფუნდამენტის ნარჩენის ნაწილის რადიოსახე.



ნახ. 5. პროფ. 4, შესრულდა 500მპკვ ეკრანირებული საშტატო გეორადარული ანტენით. პროფილის სიგრძე -30მ.

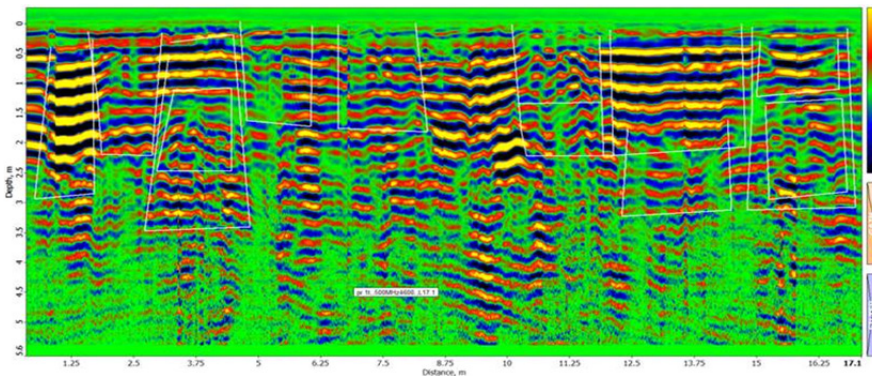
ნახ. 5 წარმოდგენილ რადაროგრამაზე ობიექტების რადიოსახეები, მათ შორის კონსტრუქციულად რთული აგებულების, პროფ. 4 განლაგებულია დისტანციებზე: 0-9მ, დისტანციებზე 11-13მ, 26-27მ მოინიშნა რთული, ჩაქცეული სტრუქტურის შემცველი ირიბი განლაგების სიბრტყეები. ამ ობიექტის რადიოსახე მარჯვენა მხარით ეყრდნობა 28-39მ ჩაქცეული ოვალურის მსგავსი სიღრუის შემცველი ობიექტის რადიოსახეს.



**უზანი 1, დასკვნა:** პროფ. 1 და პროფ. 2 გადაკვეთის ადგილას ფიქსირდება საერთო რადიოსახე, რომელიც შეესაბამება სავარაუდოდ ანტროპოგენულ სიღრუეს 2x2მ გაბარიტებით, დისტანციაზე 10.5მ პროფ.1 და 17.5მ პროფ. 2-სთვის.

მოტანილ პროფ. 1, 2, 3, 4, რომლებიც შესრულდა გეორადარ Zond-12e ით თავისი 500მჰც ეკრანირებული ანტენით გამოიკვეთა მრავლობითი, სხვადასხვა ტიპის სიღრუების წარმოდგენი გეორადიოლოკაციური რადიოსახეები, რომლებიც შეესაბამებიან ანტროპოგენულ ობიექტებს. მათი მდებარეობა და დაღრმავება განისაზღვრება შესაბამისი კოორდინატებით რადაროგრამებიდან მითითებულ დისტანციებსა და დაღრმავებებზე.

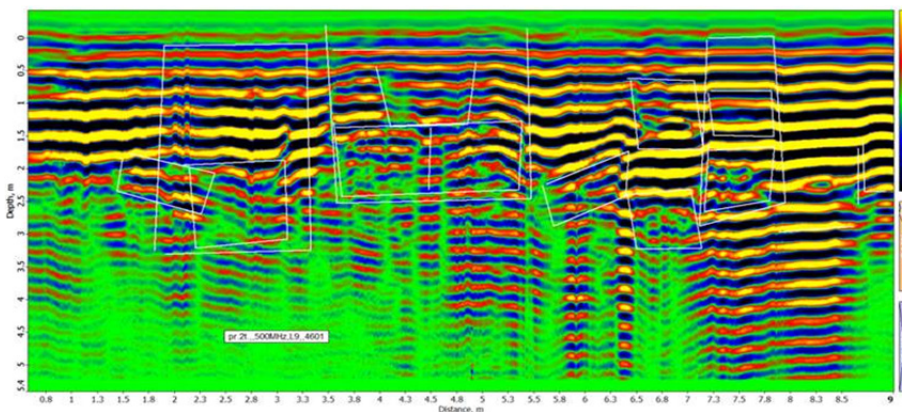
**ტაძრის ტერიტორიაზე ჩატარებული გეორადიოლოკაციური პროფილები, უზანი 2.**



*ნახ. 6. რადაროგრამაზე წარმოდგენილია პროფ. 1t გეორადარული ჭრილი, პროფილის სიგრძეა 17მ.*

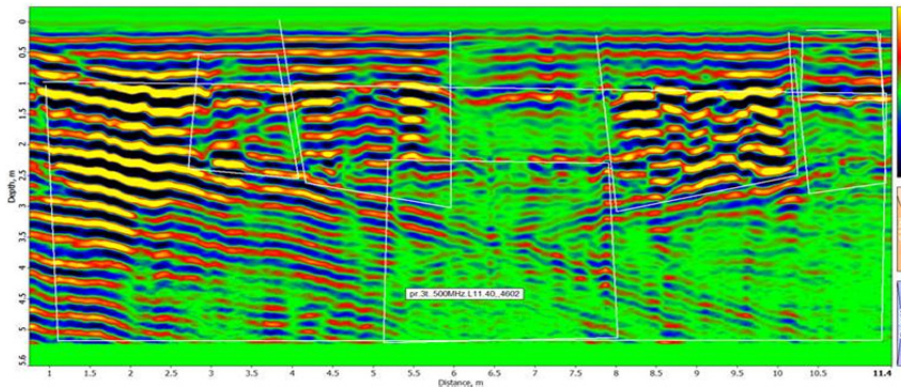
ნახ. 6 წარმოდგენილ რადაროგრამაზე თეთრი წირებით მონიშნულია მაღალი ამრეკლადობის და სიღრუის შემცველი ვერტიკალური, ურთიერთ პარალელური ზედაპირების შემცველი ობიექტების რადიოსახეები, მაგ. ფუნდამენტის ნარჩენი, დამარხული კედელი, სამაროვანი, მიწისქვეშა სათავსი და სხვა. ობიექტების რადიოსახეები, მათ შორის კონსტრუქციულად რთული აგებულების, რადაროგრამაზე განლაგებულია პრაქტიკულად მიჯრით. გამოიყოფა პირობითად ფუნდამენტის ნარჩენები დისტანციებზე: 1-2მ, 12.5-15მ.

დისტანციებზე 2-4მ მოინიშნა ამრეკლადობის მასალისგან აშენებული რთული სტრუქტურის შემცველი სიღრუე. 15-17მ დისტანციებზე მოინიშნა რთული (ერთმანეთზე განლაგებული სამი სიღრუე), ანტროპოგენული ნიშნებით.



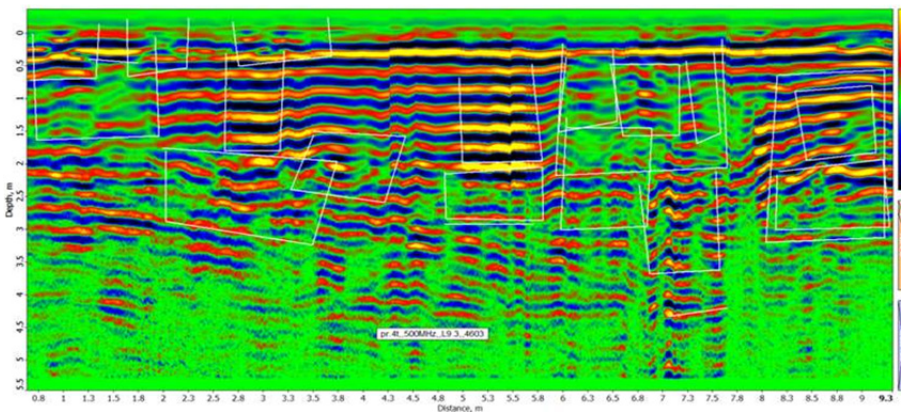
*ნახ. 7. რადაროგრამაზე წარმოდგენილია პროფ. 2t გეორადარული ჭრილი, პროფილის სიგრძეა 9მ.*

ნახ. 7 1.8-3.5მ დისტანციებზე, 2მ-ის ქვემოთ მონიშნა დეფორმირებული სიღრუე, 3.5-5.5მ დისტანციებზე მონიშნა სამკამერიანი სიღრუე, ამათგან მარჯვენა ქვედა ნაკლებ დაზიანებული უნდა იყოს. 5.9-6.5მ დისტანციებზე მონიშნა 12.3მ დისტანციის მიმართ ღერძით 4.5მ სიმეტრიული გაბარიტული ობიექტი. 7.3-3.8მ დისტანციებზე მონიშნა სიღრუები.



ნახ. 8. რადაროგრამაზე წარმოდგენილია პროფ.3t გეორადარული ჭრილი, პროფილის სიგრძეა 11მ.

ნახ. 8 რადაროგრამაზე წარმოდგენილი პროფილი 3t-ს ინტერპრეტაციის შედეგად გამოვლინდა 1-10მ დისტანციებზე პარალელური კედლების დამახასიათებელი რადიოსახე ე.წ. „ბოუ-თაი“, რომლის მიხედვითაც შეიძლება ითქვას რომ ეს ამრეკლავი პარალელური ვერტიკალური სიბრტყეები დაშორებულია ერთმანეთისგან 10-11მ-ზე. ამავე დროს სიმეტრიულად არის განლაგებული ობიექტთა ღრუ, ამომწებულ ობიექტთა რადიოსახეების ერთობლიობა 2.5-14მ დისტანციებზე.

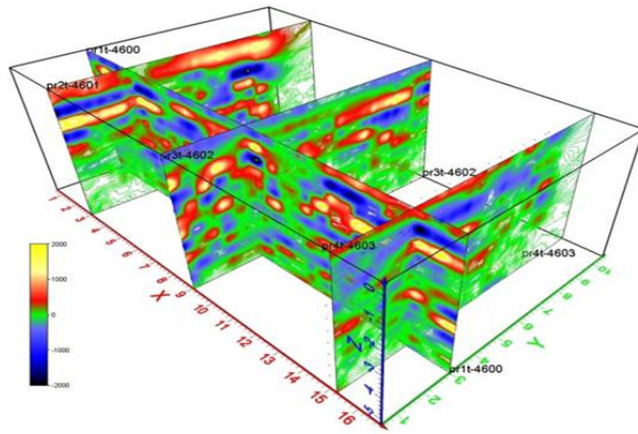


ნახ. 9. რადაროგრამაზე წარმოდგენილია პროფ.4t გეორადარული ჭრილი, პროფილის სიგრძეა 9მ.

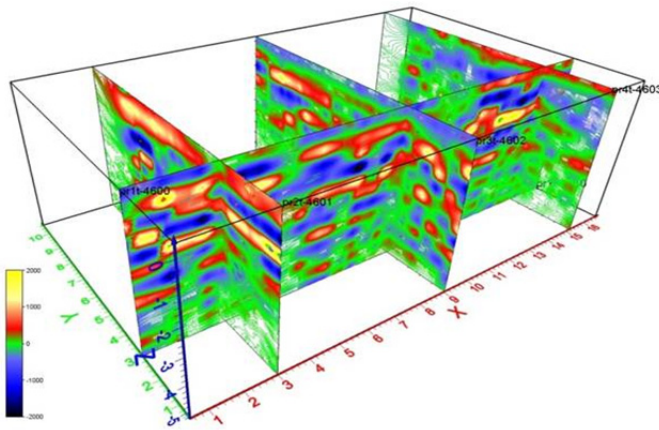
ნახ. 9 რადაროგრამა პროფ.4t გარკვეულ წილად, დეფორმირებულად, მაგრამ იმეორებს წინა ორი პროფილის რადიოსახეებს. რაც მიუთითებს ტაძრის იატაკის ქვეშ ერთიანი არქიტექტურული სისტემის არსებობას.

ნახ. 10 (a, b, c) პრ-1t, 2t, 3t, 4t-3D. პროფ.1t კვეთს პროფ. 2t, 3t, 4t კვეთის ღერძები მკაფიოდ მონიშნავენ სინფაზურობის ღერძების გაგრძელებებს ერთ სიბრტყეში, რაც მიუთითებს ამრეკლავი ობიექტის განგრძობით ხასიათზე. ასევე პროფ. 2t 3t 4t მიუთითებენ სივრცულად ერთიანი, მაგრამ მიწურვადი ხასიათის მქონე ობიექტის არსებობაზე 2t დან 4t სკენ ზედაპირის მახლობლობაში 3მ დაღრმავებამდე დისტანციებზე 4-9მ, 7-9, 7-8მ. ეს ობიექტი მკაფიოდ და ცალსახად იკითხება.

მკაფიოდ დასტურდება და შესანიშნავად იკითხება წინა სურათზე დაფიქსირებული რადაროგრამების ინტერპრეტაციით მიღებული შედეგები. მონიშნა სტრუქტურირებული ფორმირებული განგრძობითი ობიექტების არსებობა რადიოსახეების მიხედვით.

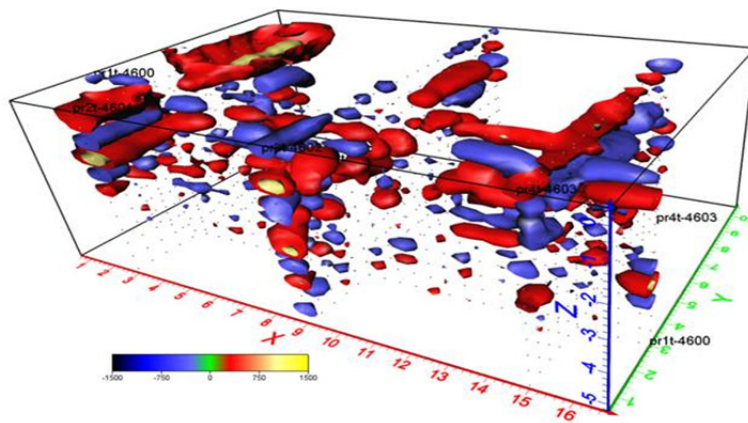


a



b

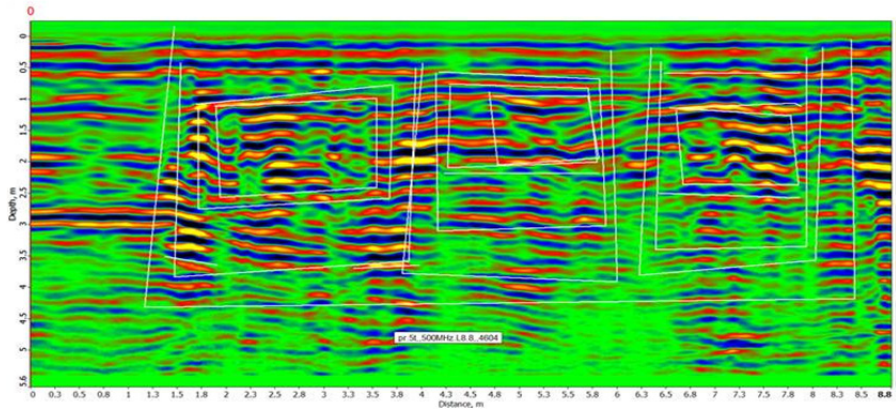
ნახ. 10 a, b. პრ-1t, 2t, 3t, 4t-3D (Voxler-ში) შეზღუდული რაკურსით.



c

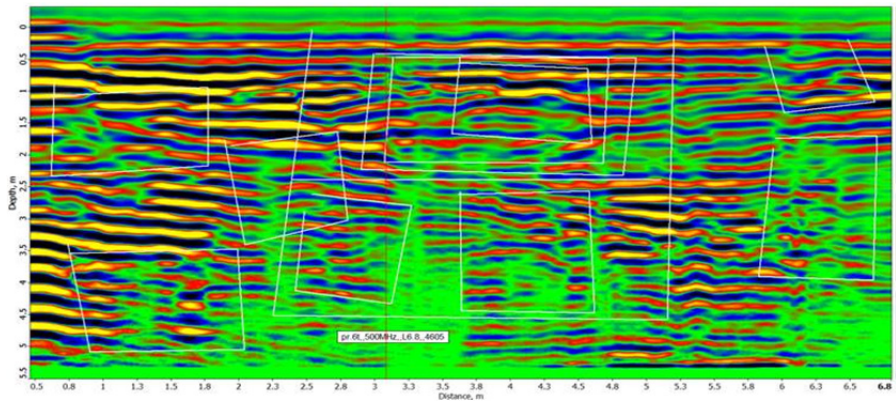
ნახ. 10c. პროგ. 1t, 2t, 3t, 4t – 3D (Voxler-ში).

Voxler პროგრამული უზრუნველყოფით დამუშავებისას და გაუსის ოპციის გამოყენებით მიღებული 3D რადაროგრამების მკვეთი ერთობლიობიდან, ასევე, დასტურდება განგრძობითი ობიექტების არსებობა ნინოწმინდის მონასტრის იატაკქვეშა სივრცეში მითითებულ უბან 2-თვის.



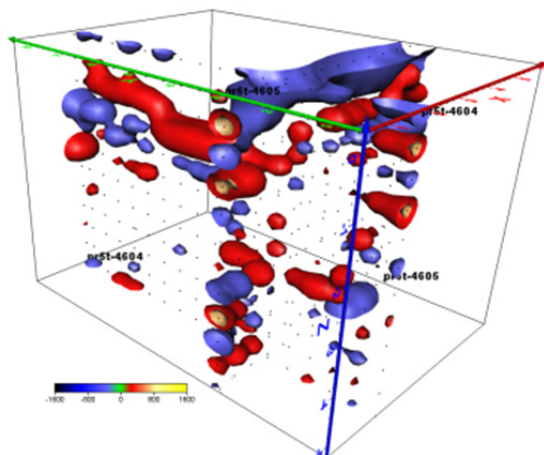
ნახ. 11. რადაროგრამაზე წარმოდგენილია პროფ. 5t გეორადრული ჭრილი, პროფილის სიგრძეა 8.8მ.

ნახ. 11-ზე წარმოდგენილია ამბიონზე გამავალი პროფილ 5t, რადაროგრამა. გამოყოფილია სამი, მიჯრით განლაგებული სამაროვანის მსგავსი ობიექტის რადიოსახე. ობიექტების ლოკაცია მონიშნულია თეთრი წირებით.

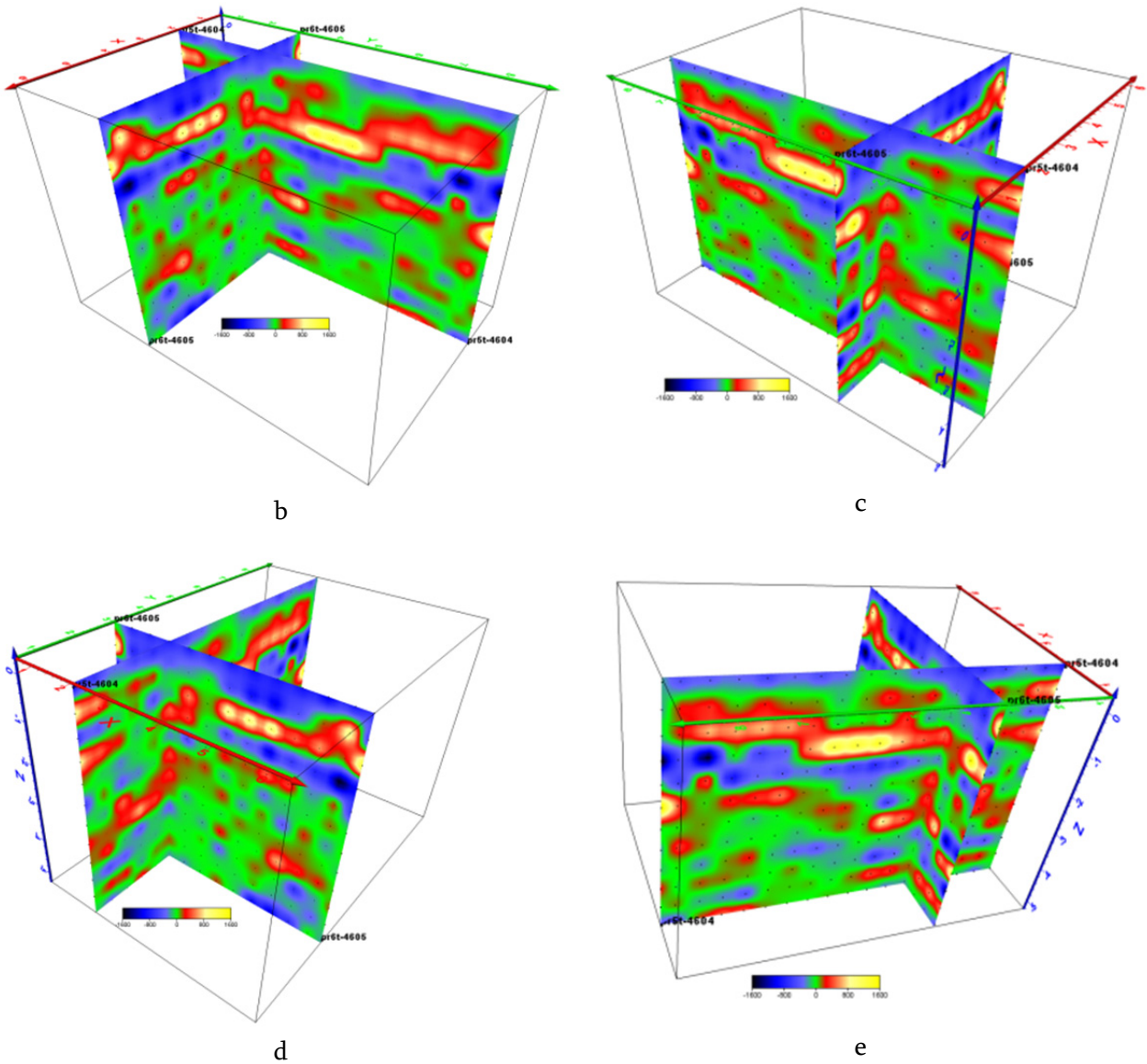


ნახ. 12. რადაროგრამაზე წარმოდგენილია პროფ. 6t გეორადრული ჭრილი, პროფილის სიგრძეა 6.8 მ.

ნახ. 12-ზე წარმოდგენილია ამბიონზე გამავალი პროფილ 6t, მართობული პროფ-5t რადაროგრამა. გამოყოფილია ძირითადი ოთხი, ასევე განლაგებულია მცირე, დაახლოებით 1x0.8მ სამაროვანის მსგავსი ობიექტის რადიოსახე. ობიექტების ლოკაცია მონიშნულია თეთრი წირებით.



ნახ. 13a

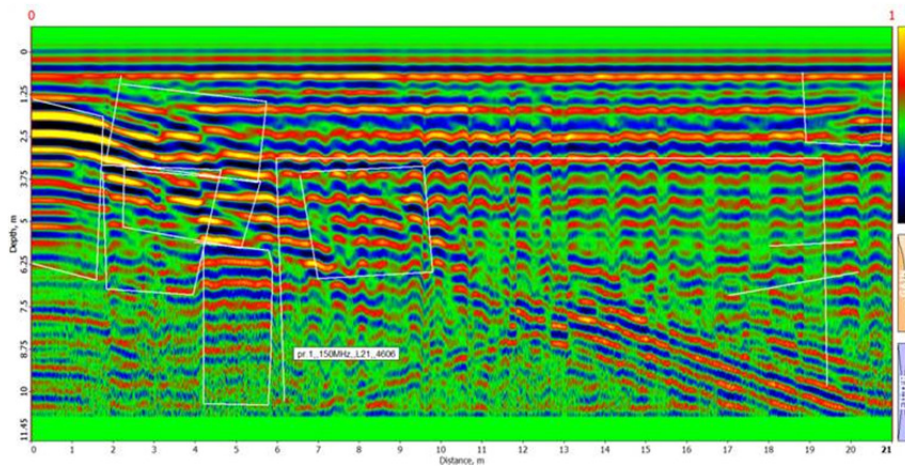


ნახ. 13 (a, b, c, d, e) პროფ. 5t, 6t, 3D – Voxler-ში (გაუსის ოპციის) შებრუნებული რაკურსით

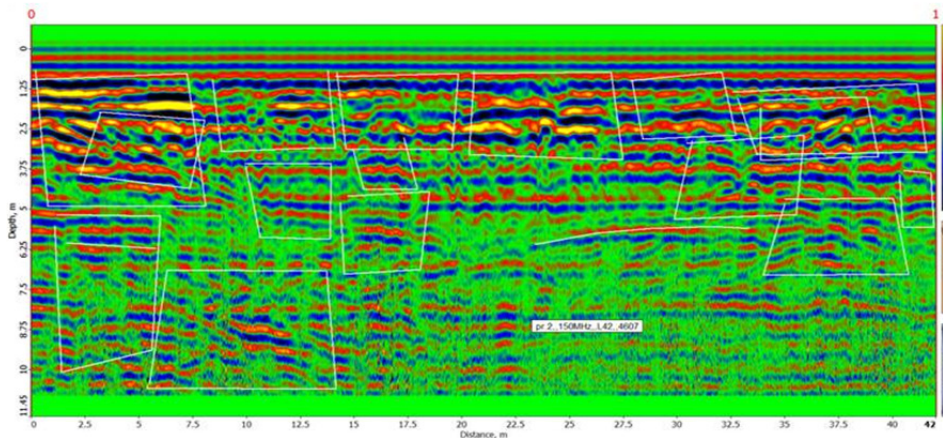
ნახ. 13 (a, b, c, d, e). მოტანილი პროფილების 5t და 6t კვეთის ღერძზე აგებული სამ-განზომილებიანი რადიოსახე ოთხ 90 გრადუსით მობრუნებული რაკურსისთვის ფიქსირდება 3მ-დე დაღრმავებაზე მდებარე ღრუ, ანტროპოგენული წარმოშობის ობიექტის არსებობა. 10მ e, ობიექტის რადიოსახე მოიაზრება როგორც სიღრუის შემცველი ობიექტის რადიოსახის ნაწილი.

### ნინოწმინდის ტაძრის ეზოს ტერიტორიაზე გატარებული გეორადარული ჭრილები

ნახ.14 რადაროგრამაზე (პროფ. 1, 150მჰც) გამოიკვეთა 0-1.5მ დისტანციაზე განთავსებული სავარაუდოდ ფუნდამენტისმაგვარი ობიექტის რადიოსახე 2-4მ დისტანციებზე დეფორმირებული „ბოუ-თაი“ ფიქსირდება, სიღრუეა. 7-10მ დისტანციაზე მოინიშნა შევსებული სიღრუის მაგვარი ობიექტის რადიოსახე. 6-20მ დისტანციებზე მოინიშნა გაბარიტული „ბოუ-თაი“.

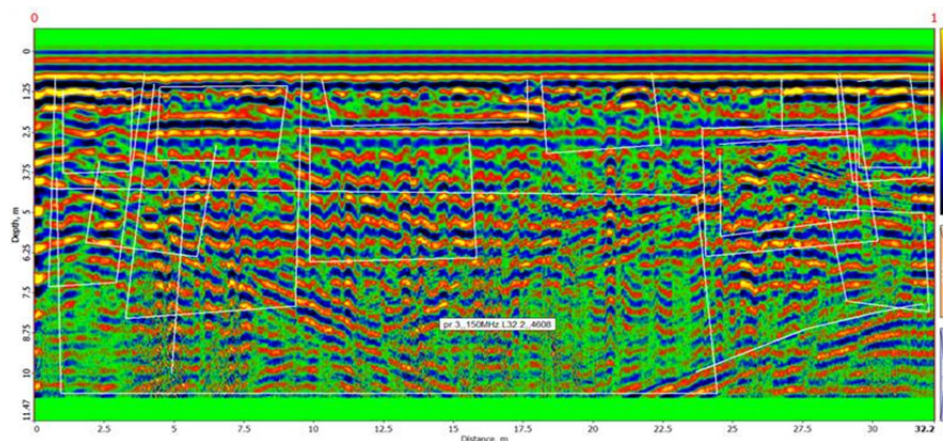


ნახ. 14. რადაროგრამაზე წარმოდგენილია პროფ. 1 გეორადარული ჭრილი, 150მჰც ანტენით, პროფილის სიგრძეა 21მ.



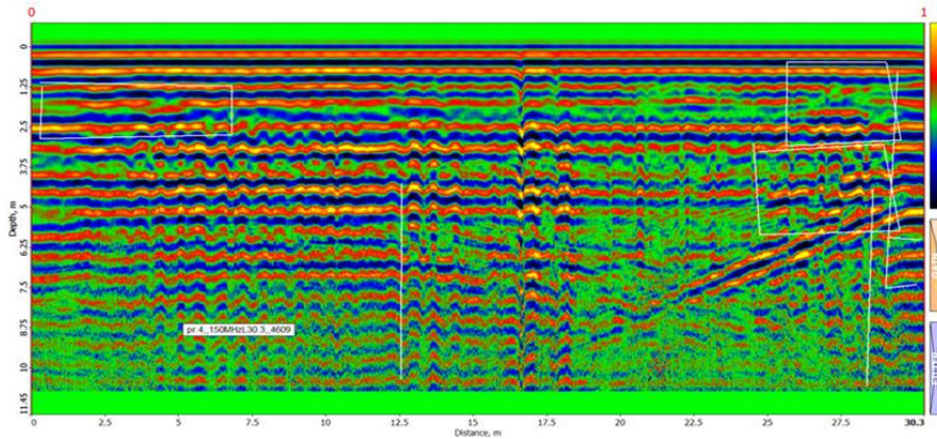
ნახ. 15. რადაროგრამაზე წარმოდგენილია პროფ. 2 გეორადარული ჭრილი, 150მჰც ანტენით, პროფილის სიგრძეა 42მ.

ნახ. 15 რადაროგრამაზე (პროფ. 2, 150მჰც) გამოიკვეთა რიგი ცილინდრულ-კუთხოვანი ღრუებისა, მონიშნულია თეთრი წირებით. ამათგან 1-7.5მ დისტანციებზე ფიქსირდება „ბოუ-თაი“-ს ტიპის სუსტად დეფორმირებული, ღრუ ანტროპოგენული ობიექტის რადიოსახე. 5-15მ დისტანციაზე იკითხება დეფორმირებული „ბოუ-თაი“.



ნახ. 16. რადაროგრამაზე წარმოდგენილია პროფ. 3 გეორადარული ჭრილი, 150მჰც ანტენით, პროფილის სიგრძეა 32მ.

ნახ.16 რადაროგრამაზე (პროფ. 3, 150მჰც) გამოიკვეთა რიგი ცილინდრულ-კუთხოვანი ღრუებისა ზოგი ნაწილობრივ შევსებულია ნაშალი მასალით, მონიშნულია თეთრი წირებით, ამათგან 1-3.5მ, 2.5-5მ და 5-25მ დისტანციებზე ფიქსირდება „ბოუ-თაი“-ს ტიპის ობიექტის რადიოსახე. 5-15მ დისტანციაზე იკითხება დეფორმირებული „ბოუ-თაი“.

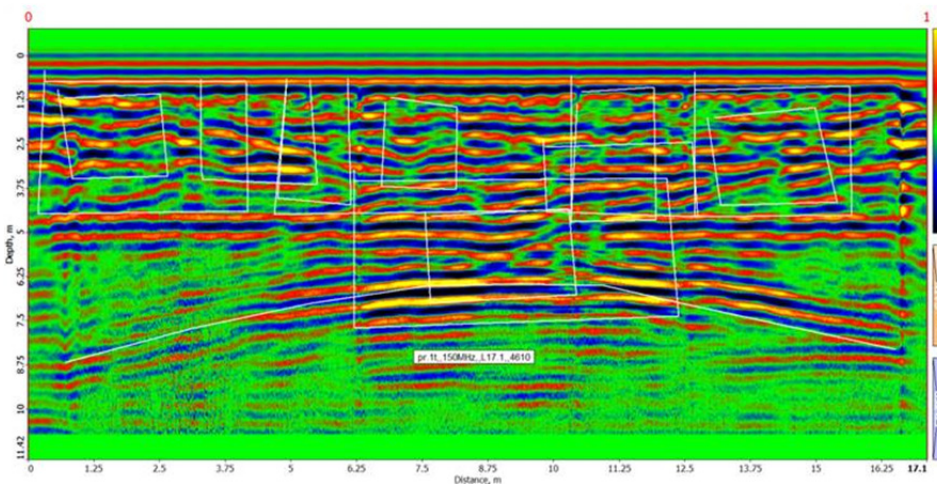


ნახ. 17. რადაროგრამაზე წარმოდგენილია პროფ-4 გეორადარული ჭრილი, 150მჰც ანტენით, პროფილის სიგრძეა 30მ.

ნახ.17 12.5-28მ დისტანციაზე იკითხება დეფორმირებული „ბოუ-თაი“ (პროფ. 4, 150მჰც).

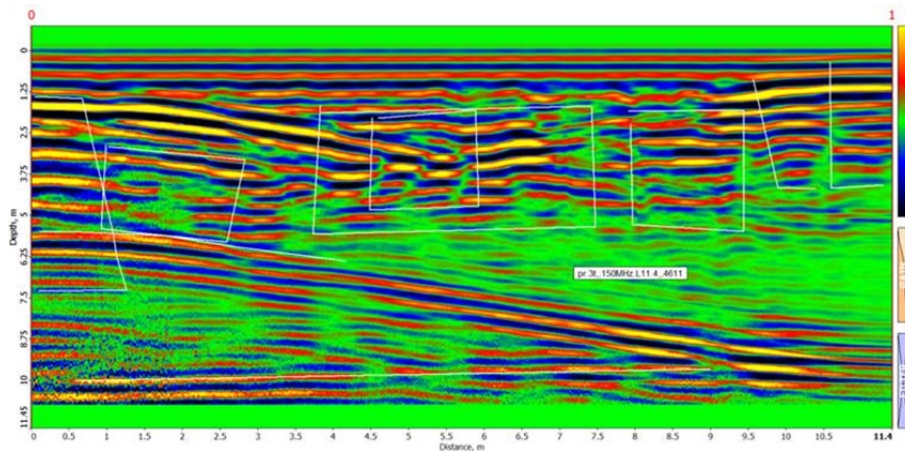
პროფ. 1, 2, 3, 4 როგორც პარალელურ, ასევე მართობულ პროფილებზე იკითხება საშუალოდ 5მ სიღრმიდან 8.5მ დაღრმავებებზე ვერტიკალური ამრეკლავი ობიექტების არსებობა, რაც დასტურდება მსგავსი „ბოუ-თაის“ ტიპის რადიოსახეების არსებობით, შესაძლოა ისინი ერთიანი არქიტექტურული ობიექტის ნაწილებს წარმოადგენდნენ პროფილების შესაბამისი გადაკვეთების შედეგად მიღებულ რადაროგრამებზე წარმოჩენით.

**ტაძარის შიდა ტერიტორია, 150 მჰც**



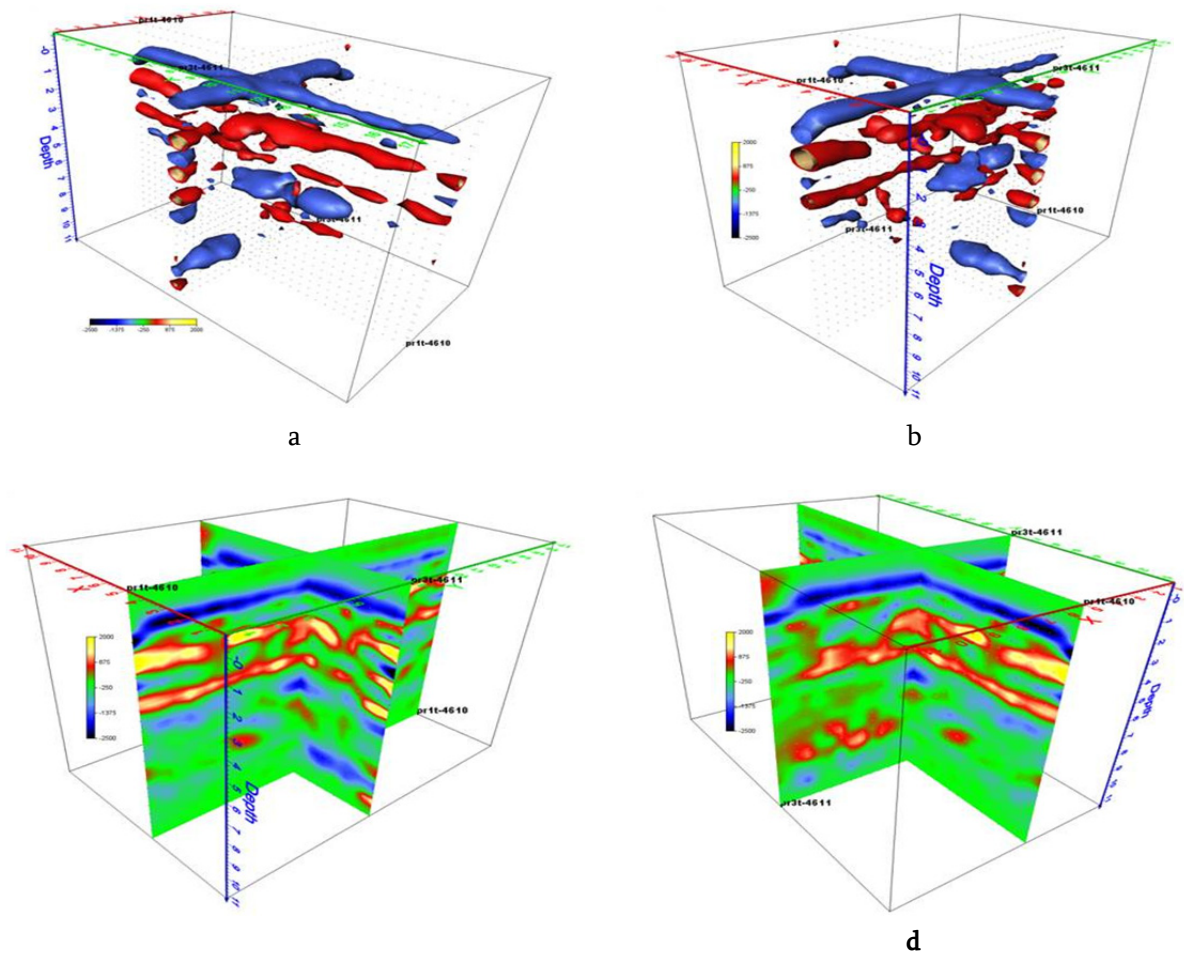
ნახ. 18. რადაროგრამაზე წარმოდგენილია პროფ. 1t გეორადარული ჭრილი, 150მჰც ანტენით, პროფილის სიგრძეა 17მ.

ნახ.18 წარმოდგენილი რადაროგრამა (პროფ.1t, 150მჰც) წარმოადგენს სიმეტრიულად განლაგებულ ობიექტების რადიოსახეს, რომელიც ეყრდნობა 5მ დაღრმავებაზე გეოელექტრულ ფენათა გამყოფ საზღვარს. 6.25 მეტრის ქვეშ გამოიკვეთა, კვეთში ცილინდრული ობიექტის კვეთის, რადიოსახე.



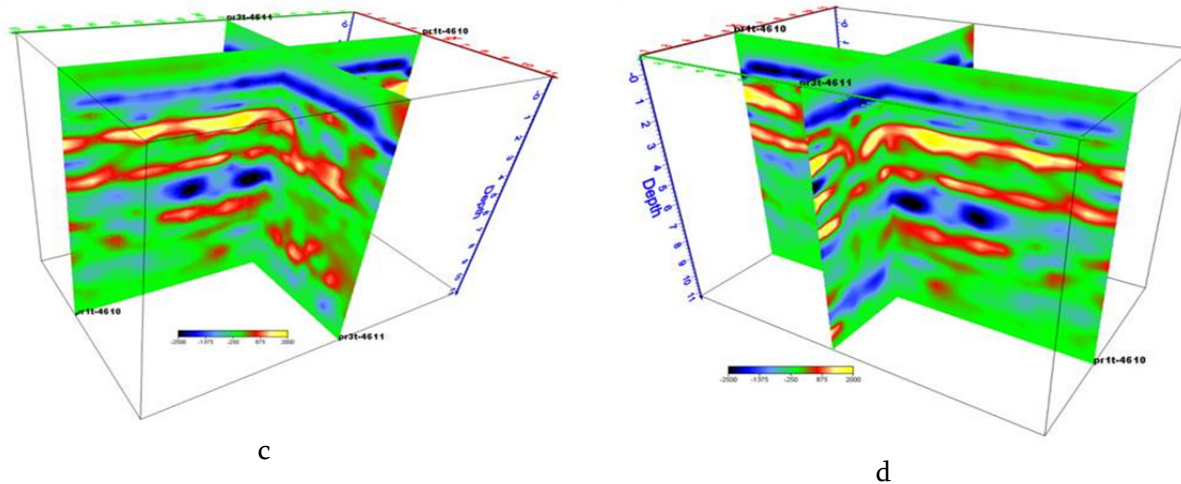
ნახ. 19. რადაროგრამაზე წარმოდგენილია პროფ. 3t გეორადარული ჭრილი, 150მჰც ანტენით, პროფილის სიგრძეა 11მ.

ნახ. 19 წარმოდგენილი რადაროგრამა (პროფ.3t, 150მჰც) წარმოადგენს ნაწილობრივ სიმეტრიულად განლაგებულ ობიექტების რადიოსახეს, რომელიც ეყრდნობა 5მ დაღრმავებაზე გეოელექტრულ ფენათა გამყოფ საზღვარს. 6.5 მეტრის ქვეშ გამოიკვეთა, კვეთში ცილინდრული ობიექტის კვეთის, რადიოსახე 0-7.5მ დისტანციებზე. მონიშნა, აგრეთვე, რიგი „ბოლ-თაი“-სა თეთრი წირებით.



ნახ. 20 (a, b, c, d)





ნახ. 20 (e, f). პროგ.1t-3t, 3D – Voxler-ში (გაუსის ოპციის), შებრუნებული რაკურსით, 150მპკ ანტენით.

ნახ. 20 (a, b) წარმოაჩენს ორ სხვადასხვა რაკურსში ჯვრის ტიპის ობიექტის არსებობას ზედაპირიდან 4მ დაღრმავებამდე, ობიექტის რადიოსახე მკაფიოდ იკითხება.

ნახ. 20 (c, d, e, f) წარმოდგენილია 90 გრადუსით მობრუნებული მკვეთი პროფილებით მიღებული ობიექტის რადიოსახე, რომლის ინტერპრეტაციით ცალსახად იკვეთება სიღრუის მქონე სამგანზომილებიანი ანტროპოგენული წარმოშობის ობიექტის არსებობა.

### დასკვნა

ნინოწმინდის კომპლექსის ტერიტორიაზე გეორადარული 500მპკ და 150მპკ ანტენებით ჩატარებული სადაზვერვო,წინასწარი არქეოგეორადიოლოკაციური კვლევის შედეგად გატარდა 0.5მ და 1.5მ სიგანის გეორადიოლოკაციური ჭრილები. არქეოგეორადიოლოკაციური პროფილების ინტერპრეტაციის შედეგად გამოიკვეთა მიწისქვეშა განლაგების ობიექტების რადიოსახეების ლოკაციისა და გვარობის დამახასიათებელი ნიშნები.

1. კერძოდ, მონიშნა სიღრუების მკაფიოდ, დეფორმირებულად და ნაწილობრივ ჩამოლილად განლაგების ადგილები;
2. მონიშნა მიწისქვეშა განლაგების გაბარიტული (10-15 მ) დაშორების პარალელური კედელ-ფუნდამენტები სხვადასხვა პროფილებზე;
3. სამგანზომილებიანი ბრუნვითი რაკურსით დანახული რადიოსახეები მიუთითებენ ანტროპოგენული წარმოშობის მოცულობითი ობიექტების არსებობაზე, როგორც ტაძრის შიგნით ასევე მის გარეთ;
4. ტაძარში, წარმოაჩნდა ორ სხვადასხვა რაკურსში „ჯვრის“ ტიპის ობიექტის არსებობა ზედაპირიდან 4მ დაღრმავებამდე, ობიექტის რადიოსახე მკაფიოდ იკითხება.

### რეკომენდაცია

1. ნინოწმინდის კომპლექსის არქეოგეორადიოლოკაციური კვლევის შედეგად კარტირებისათვის საჭიროა შემდგომი გეორადარული პროფილების გატარება სხვადასხვა სიხშირეებსა და პარალელურ პროფილებისთვის (10x10მ) კვადრატებად დაყოფისათვის.
2. ნინოწმინდის კომპლექსი არქეოლოგიური კვლევისთვის საინტერესო ობიექტს წარმოადგენს.

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛІТЕРАТУРА

1. Ioseliani P. Description of the antiquities of the city Tiflis. 1866, pp. 132-133, (in Russian).
2. Georgian Soviet Encyclopedia, T. 7, Tbilisi., 1984, P. 440, (in Georgian).
3. Odilavadze D., Kiria J., Ghlonti N., Yavolovskaya O. The Results of archaeogeoradiolocation investigations of the territory inside the rampart of St. Sophia Church of Khobi. „Moambe”, Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, V.14, n.4, 2020, pp. 51-56.
4. Chelidze T., Odilavadze D., Pitskhelauri K. Archaeogeophysics in Georgia-New Results, New Prospects. Proceedings of the Georgian National Academy of Sciences. Series of History, Archeology, Ethnology and Art History, №.15, 2013, pp. 24-34.
5. Odilavadze D.T., Chelidze T.L. A Preliminary GPR investigation of Metekhi Cathedral and the surrounding area. Journal of Georgian Geophysical Society, № 14, 2010, pp. 32-38.
6. Kofman L., Ronen A., Frydman S. Detection of model voids by identifying reverberation phenomena in GPR records. Journal of Applied Geophysics. (59), 2006, pp. 284-299.
7. Odilavadze D., Chelidze T., Yavolovskaya O. Some georadiolocation images of cylindrical bodies built with different dielectric fillers, placed in a dielectric environment. International Scientific Conference "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes". Proceedings, ISBN 978-9941-36-147-0, Tbilisi, Georgia, November 16-17, 2023, pp. 217-220.
8. Odilavadze D., Chelidze T., Ghlonti N., Yavolovskaya O. Determining the presence and structure of a sub-surface radioactive burial when interpreting the results of the GPR method by analyzing a three-dimensional rotating radio image. 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. 21-28.
9. Odilavadze D., Chelidze T., Yavolovskaya O. The radio image of an object with an elongated, face-fragmented, dielectrically complex structure was studied using the method of georadar physical modeling. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 27(2), 2024, pp. 15-28.
10. Odilavadze D., Chelidze T., Yavolovskaya O. Preliminary archaeogeophysical survey of the construction site in the vicinity of the Narikala Citadel. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127. Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 28(1), 2025, pp. 27-35.

### ნინოწმინდის სამონასტრო კომპლექსის ტერიტორიის

#### არქეოგეორადიოლოკაციური კვლევა

ოდიავაძე დ., ჭელიძე თ., ღლონტი ნ.,

ქირია ჯ., იავოლოვსკაია ო.

#### რეზიუმე

საქართველო – კახეთი, საგარეჯო, ნინოწმინდის სამონასტრო კომპლექსის ეზოში ოთხ ძირითად გეორადიოლოკაციურ პროფილზე ჩატარებულია მოტანილი პროფ. 1, 2, 3, 4 და პროფ. 1ტ, 2ტ, 3ტ, 4ტ, 5ტ, 6ტ ტაძრის ტერიტორიაზე. ისინი შესრულდა გეორადარ Zond-12e ით თავისი სამტატო 500მმ<sup>3</sup>ც ეკრანირებული ანტენით და 150მმ<sup>3</sup>ც დიპოლური ანტენით.

შედეგები დამუშავდა და ინტერპრეტირდა პროგრამული უზრუნველყოფით Prizm 6 და Voxler 4. პროფილების ნაწილი აიგო 2 და 3 განზომილებიანი წარმოდგენით.

გამოიკვეთა მრავლობითი, სხვადასხვა ტიპის სიღრუების წარმოდგენი გეორადიოლოკაციური რადიოსახეები 2D და 3D, რომლებიც შეესაბამებინან ანტროპოგენულ ობიექტებს. მათი მდებარეობა და დაღრმავება განისაზღვრება შესაბამისი კოორდინატებით რადაროგრამებზე მითითებულ დისტანციებსა და დაღრმავებებზე.

**საკვანძო სიტყვები:** არქეოგეორადიოლოკაციური სამუშაოები, გეორადარი, რადიოსახე, რადაროგრამა.

## **ARCHAEOGEORADIOLOCATION RESEARCH OF THE TERRITORY OF THE NINOTSMINDA MONASTERY COMPLEX**

**Odilavadze D., Chelidze T., Glonti N.,  
Kiria J., Yavolovskaya O.**

### **Abstract**

Georgia – Kakheti, Sagarejo. Four main georadiolocation profiles/GPR-section have been carried out in the inner courtyard of the Ninotsminda monastery complex: and in the monastery itself: profiles-1, 2, 3, 4 and profiles 1T, 2T, 3T, 4T, 5T, 6T. They were performed with the georadar Zond-12e with its standard 500MHz shielded antenna and 150MHz dipole antenna.

The results were processed and interpreted with the Prizm 6 and Voxler 4 software. Part of the profiles were constructed in 2 and 3 dimensional representations.

Multiple georadiolocation radio features representing various types of cavities were identified, which correspond to anthropogenic objects. Their location and depth will be determined by the corresponding coordinates at the distances and depths indicated on the radar maps.

**Keywords:** archaeogeoradiolocation survey, georadar works, radio image.

## **АРХЕОГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ МОНАСТЫРСКОГО КОМПЛЕКСА НИНОЦМИНДА**

**Одилавадзе Д., Челидзе Т., Глonti Н.,  
Кирия Дж., Яволовская О.**

### **Реферат**

Грузия – Кахетия, Сагареджо. Во внутреннем дворе монастырского комплекса Ниноцминда и в самом монастыре были выполнены четыре основных георадиолокационных профиля/георадарных разреза: профили 1, 2, 3, 4 и профили 1Т, 2Т, 3Т, 4Т, 5Т, 6Т. Они были выполнены с помощью георадара Zond-12e со стандартной экранированной антенной 500 МГц и дипольной антенной 150 МГц.

Результаты были обработаны и интерпретированы с помощью программного обеспечения Prizm 6 и Voxler 4. Часть профилей была построена в двух- и трёхмерном представлении.

Было выявлено множество георадиолокационных радиообъектов, представляющих собой различные типы полостей, соответствующих антропогенным объектам. Их местоположение и глубина будут определены по соответствующим координатам на расстояниях и глубинах, указанных на радиолокационных картах.

**Ключевые слова:** археогеорадиолокационная съемка, георадарные работы, радиоизображение.

## ПОСЛЕДСТВИЯ СЕЛЯ ВЕСНОЙ 2024 Г. В БАССЕЙНЕ РЕКИ ДАЛАР (ПРАВЫЙ ПРИТОК Р. РАЗДАН, АРМЕНИЯ)

**Бойнагрян В.**

*Ереванский государственный университет, Ереван, Армения  
vboynagryan@ysu.am; vboynagryan@gmail.com*

### **Введение**

В горных странах одним из разновидностей опасных природных процессов являются сели, которые причиняют огромный ущерб населенным пунктам и транспортной инфраструктуре в местах своего действия, а также оказывают разрушающее воздействие на окружающую среду. В последние несколько лет повсеместно в мире наблюдаются значительные изменения климата, что проявляется в увеличении количества и частоты катастрофических наводнений и селей, связанных с выпадением нескольких месячных норм осадков за короткий промежуток времени и, соответственно, с резким подъемом уровня воды в реках [1-6].

Разрушительные селевые потоки причинили огромный ущерб в Колумбии (2017 г.), Кыргызстане (2016 г.), Таджикистане (2015 г.), Китае (2010 г.), Филиппинах (2006 г.), Афганистане (2013 г.) и др. [7-8]. В 2024 г. сели причинили значительный ущерб городскому хозяйству Сочи и другим населенным пунктам Краснодарского края, Сахалину, Кабардино-Балкарии, Приморью, Камчатке, Дагестану, Кыргызстану.

Проблема селей весьма актуальна и в Армении, что обусловлено не только горным характером рельефа республики, ливневыми дождями (нередко с градом), активным физическим выветриванием горных пород и накоплением на склонах неустойчивого рыхлого материала в качестве источника твердой составляющей для селей, но и изменением климата, как и повсюду в мире: нарушены летние и зимние температуры воздуха, сроки наступления очередных сезонов года, возросла интенсивность осадков (особенно в последние 5 лет) и частота экстремальных гидрометеорологических явлений и др. [9]. Одним из селеопасных участков Армении является и бассейн р. Далар.

### **Материал и методы**

Статья подготовлена на основе материалов, собранных автором в ноябре 2024 г. во время совместного с сотрудниками Crisis Management State Academy of Armenia and Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC) полевого семинара по речной инженерии, а также анализа топографической карты масштаба 1:100 000 (лист К-38-126) и имеющихся опубликованных сведений по данному речному бассейну.

### **Результаты и обсуждение**

Бассейн р. Далар площадью 86.6 км<sup>2</sup> расположен в Котайкской области Республики Армения, между северо-восточным склоном хребта Техеняц и склоном юго-западной экспозиции Цахкуняцкогo хребта и ориентирован по линии север-юг. Водораздельная граница бассейна представлена узкой извилистой поверхностью, которую ограничивают крутые склоны водосборных воронок. Местами склоны отвесные (например, на участке от горы Техенис-2851.1 м

на юг до вершины 2659.4 м; на всем участке от отметки 2809.7 м до горы Цахкуняц-2820.5 м). Склоны всех рек бассейна испещрены промоинами и оврагами и частично покрыты дубовым лесом и кустарником (рис. 1-2).



Рис. 1. Схема местоположения бассейна р. Далар.

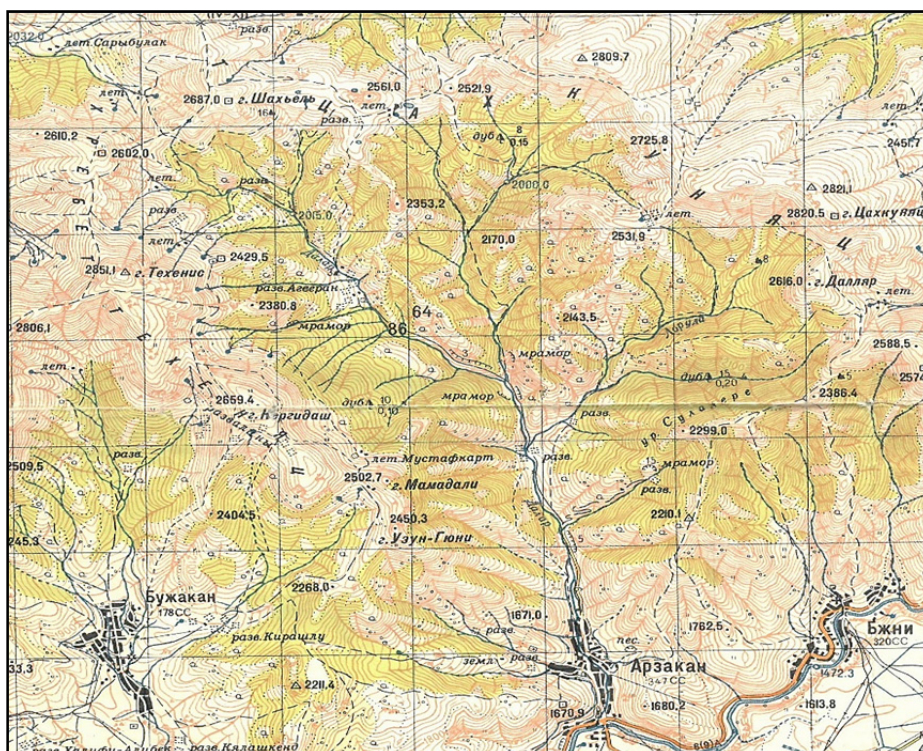


Рис. 2. Топографическая карта бассейна р. Далар (масштаб 1:100 000, уменьшено).

Бассейн реки является частью Цахкуняцкого поднятия Центрально-армянской интенсивно дифференцированной сводово-глыбовой зоны [10]. В бассейне распространены породы *верхнего протерозоя* (мигматиты, разнообразные сланцы, которые у села Арзакан прорваны древ-

ними гранитами и сильно мигматизированы), *верхнего протерозоя-нижнего кембрия* (мусковитовые, биотит-мусковит-кварц-полевошпатовые, кварц-полевошпатовые сланцы, которые интенсивно мигматизированы и частично превращены в мигматиты; они слагают ядро Арзаканского массива Цахкуняцкого хребта, характерные разрезы имеются на левом склоне долины р. Далар), *верхнего докембрия-нижнего палеозоя* (разнообразные сланцы с прослоями мраморов и филлитов), *среднего протерозоя* (турмалиновые, гранат-двуслюдяные, графитовые пятнистые кристаллические сланцы, мраморы, доломиты; образования этой серии представляют собой самые древние породы на территории Армении; обнажаются в ядре Цахкуняцкого антиклинория). Из интрузивных пород здесь широко распространены небольшие штоки, дайкоподобные и пластовые тела габбро-диабазов, диабазов и амфиболовых габбро [11].

Основной водной артерией бассейна является р. Далар длиной 13 км. Её исток расположен на абсолютной высоте 2600 м, а устье – на высоте 1460 м. В верховьях река собирает свои воды с южного склона Цахкуняцкого хребта на участке между вершинами с абсолютными высотами 2687.0 м и 2561.0 м, а также с восточных склонов хребта Техеняц (южный отрог Цахкуняцкого хребта) на участке с высотами 2602.0 м и 2851.1 м (гора Техенис) из родников, выходящих у подножия крутых склонов. Впадает в р. Раздан на южной окраине села Арзакан (рис. 2).

Годовое количество осадков составляет 600-700 мм, в водораздельной зоне на высотах более 2500-2600 м их количество возрастает до 800 мм [12].

Селеопасность бассейна р. Далар высокая, что связано:

- с преобладанием крутых и обнаженных склонов со слабым развитием дернового покрова;
- со значительной трещиноватостью и выветрелостью горных пород, способствующих образованию большого количества щебня и дресвы (твердая составляющая селей);
- с большими падениями русел водотоков (у основной реки бассейна падение русла составляет 92.9 м/км, у притоков – более 100 м/км) и большими скоростями потенциальных селевых потоков;
- с наличием в верховьях всех притоков многочисленных оврагов и промоин (рис. 3), по которым ливневые воды вместе со смытым с обнаженных склонов рыхлообломочным материалом быстро поступают в основную реку.

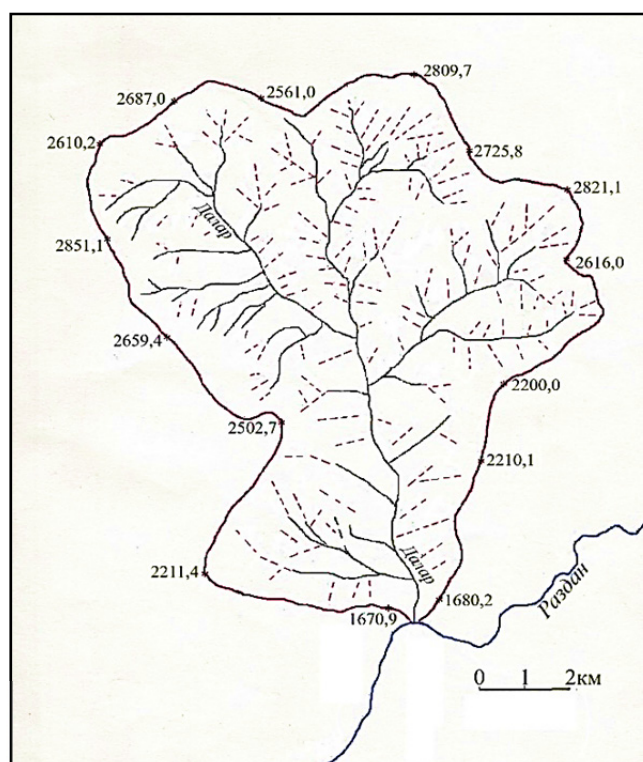


Рис. 3. Схема речной сети бассейна р. Далар (пунктиром показаны овраги).

Река Далар представляет собой типично горный водоток с V-образным поперечным и крутым продольным профилем в верховьях, а также валунно-галечным руслом с бурным течением, значительными подъемами уровня воды в периоды интенсивного снеготаяния и ливневых осадков, особенно при превышении их обычных норм, свойственных бассейну данной реки. Согласно [13], высшие уровни воды в реке за год составляли: средний уровень – 154 см, максимальный – 237 см (29.05.1978), минимальный – 86 см (28.04.1961), а колебания за год: средний – 69 см, максимальный – 143 см (1964), минимальный – 35 см (1943).

Величины годового расхода и стока весеннего половодья приведены в таблицах 1 и 2.

**Таблица 1. Средние и характерные расходы воды [13].**

Год	Средний годовой расход воды, м <sup>3</sup> /с	Годовой модуль стока, л/с/км <sup>2</sup>	Годовой слой стока, мм	Расход воды, максимальный, м <sup>3</sup> /с
1976	1.38	15.9	511	28.0
1977	0.75	8.62	272	6.00
1978	1.48	17.0	537	24.4
1979	0.65	7.47	236	4.28
1980	0.77	8.85	280	6.92
сред.	0.90	10.2	323	8.76
макс.	1.64	18.8	592	30.9
мин.	0.32	3.68	116	2.88

**Таблица 2. Сток весеннего половодья [13].**

Год	Максимальный срочный расход, м <sup>3</sup> /с	Суммарный слой стока за половодье, мм	Объем стока за половодье, млн м <sup>3</sup>	Сток за половодье, % годового
1976	28.0	426	37.1	83
1977	6.0	204	17.8	75
1978	24.4	439	38.2	82
1979	4.28	158	13.7	67
1980	6.92	209	18.2	75
сред.	9.39	216	18.8	64
макс.	30.9	457	39.7	83
мин.	2.88	51	4.44	



*Рис. 4. Валежник, вынесенный селем и скопившийся перед мостовым переходом (фото автора).*

Для бассейна р. Далар характерна средняя селеносность – 5-15 тысяч м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup> за один сель и слабая селеактивность – повторяемость 1 раз за 10 лет и более. Сели в основном водокаменные [12].

Высота селевой волны весной 2024 года составляла примерно 140-150 см, что уже представляло собой угрозу для объектов, расположенных по пути её следования. Сель вынес из верхней реки не только рыхлообломочный материал, но и скопившийся в русле валежник, а также бытовой мусор, сбрасываемый сельчанами в воду (рис. 4 -5).



*Рис. 5. Бытовой мусор, вынесенный селем вниз по реке (фото автора).*

На отдельных участках была повреждена автомобильная дорога (рис. 4, 6).



*Рис. 6. Поврежденные селем участки автомобильной дороги в пределах села Арзакан (фото автора).*

## **Выводы**

Сели в бассейне р. Далар случаются редко, но геоморфологические предпосылки достаточны для их формирования (см. выше). При обильном снеготаянии или сильном ливне может образоваться водокаменный сель. Во избежание ущерба сельской общине желательно не загро-



мождасть русло реки строительными и бытовыми отходами, а также предварительно укрепить бетонными плитами вогнутые участки берегов на излучинах реки.

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Coldewey W.G., Böcker Ch., Schuppeli 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.
3. 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.
4. Gaprindashvili G., Gaprindashvili M., Tsereteli E. Natural disaster in Tbilisi city (Riv. Vere basin) in the year 2015. Journal of Geosciences, vol. 7, 2016, pp. 1074-1087.
5. Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Zyelyk Y. Flood risk assessment based on geospatial data. New trends in information technologies. ITNEA, Sofia, 2010, pp. 92-101.
6. 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. Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 5th International Conference Tbilisi: Publishing House “Universal”, 2018, pp. 158-165.
7. Бойнагрян В.Р., Бойнагрян А.В., Манукян Н.В. Селевая активность в Армении. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Сборник трудов III Международной конференции. Южно-Сахалинск, 2014, с. 10-13
8. Гращенков А. Самые разрушительные селевые потоки в мире в 2010-2017 годах. РИА Новости, 2017. <https://ria.ru/spravka/2017040202>.
9. IPCC. Sixth Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021.
10. Симонян Г.П. Неотектоническая карта Республики Армения. Масштаб 1:200 000. Ереван, 2000.
11. Саркисян О.А. Арзаканская свита. Геологическая энциклопедия Армении. Геологический очерк Армении, стратиграфия и свиты. Ереван: ГЕОИД, 2013, с. 222-224.
12. Национальный атлас Армении. Ереван: Центр геодезии и картографии. ПОАК А, 2007, 232 с. (на армянском языке).
13. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. XIII, Армянская ССР, Ленинград: Гидрометеиздат, 1987, с. 28, 61, 92.

## ПОСЛЕДСТВИЯ СЕЛЯ ВЕСНОЙ 2024 Г. В БАССЕЙНЕ РЕКИ ДАЛАР (ПРАВЫЙ ПРИТОК Р. РАЗДАН, АРМЕНИЯ)

**Бойнагрян В.**

**Реферат**

Сель вынес из верховий реки не только рыхлообломочный материал, но и скопившийся в русле валезник, а также бытовой мусор, сбрасываемый сельчанами в воду. На отдельных участках была повреждена автомобильная дорога.

**Ключевые слова:** река Далар, шоссе, селевой поток.

**ღვარცოფის შედეგები 2024 წლის გაზაფხულზე მდინარე დალარის აუზში  
(მდინარე რაზდანის მარჯვენა შენაკადი, სომხეთი)**

**ბოინაგრიანი ვ.**

**რეზიუმე**

ღვარცოფმა მდინარის ზემო წელში არა მხოლოდ ფხვიერი ნამსხვრევები, არამედ მდინარის კალაპოტში დაგროვილი მკვდარი ხე-ტყე და სოფლის მაცხოვრებლების მიერ მდინარეში ჩაყრილი საყოფაცხოვრებო ნარჩენებიც მოიტანა. ზოგიერთ რაიონში გზატკეცილი დაზიანდა.

**საკვანძო სიტყვები:** მდინარე დალარი, გზატკეცილი, ღვარცოფი.

**CONSEQUENCES OF A MUDFLOW IN THE SPRING OF 2024 IN THE DALAR RIVER  
BASIN (RIGHT TRIBUTARY OF THE HRAZDAN RIVER, ARMENIA)**

**Boynagryan V.**

**Abstract**

Mudflow carried out from the upper reaches of the river is not only loose blockage material, but also dead wood accumulated in the riverbed, as well as household garbage dumped by villagers into the water. The highway was damaged in some areas.

**Key words:** Dalar river, highway, mudflow.

## РОЛЬ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В АВАРИЯХ НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ АРМЕНИИ

**Бойнагрян В., Айриянц А.**

*Ереванский государственный университет, Ереван, Армения  
vboynagryan@ysu.am;  
vboynagryan@gmail.com*

### Введение

Повсюду в мире имеется множество плотин разной конструкции (грунтовые, каменные, бетонные, деревянные) и размеров, а также разного назначения. Это могут быть плотины водохранилищ, создаваемых для накопления воды с целью орошения сельскохозяйственных земель; бытовых потребностей населенных пунктов и промышленного использования; выработки электроэнергии на ГЭС; отдыха населения, рыбоводства, улучшения навигации. Плотины строят также для защиты от селей (например, селехранилище в урочище Медео, Казахстан); накопления отходов горно-обогатительных предприятий в хвостохранилищах; защиты от наводнений в устьях рек (например, в устье р. Нева) или в прибрежных районах, расположенных ниже уровня моря (Нидерланды, южное побережье США у гор. Новый Орлеан) и др.

Нередко на плотинах случаются аварии, связанные с сильными землетрясениями (плотина “Зипингпу” – Китай, Сычуаньское ЗТ 2008г.,  $M=8$ ; плотина “Яшинкуль” – Киргизия, Ташкентское ЗТ 1966г.,  $M=5,2$  [1]; плотина ГЭС “Байньцяо” на р. Жухэ высотой 118 м – Китай, сильное ЗТ 7-го августа 1975г. и одновременно выпавшие за один день 1631 мм осадков – это была самая смертоносная катастрофа с прорывом плотины в истории человечества [2]; бетонная арочная плотина “Мальпасе” на р. Рейран, Франция, 1959г. – разрушилась моментально при землетрясении из-за низкого качества использованного цемента, длительных взрывных работ на строительстве автомобильного шоссе поблизости от плотины, а также из-за того, что плотина была построена из гнейса, который под давлением становится водопроницаемым) [3] (рис. 1-2).

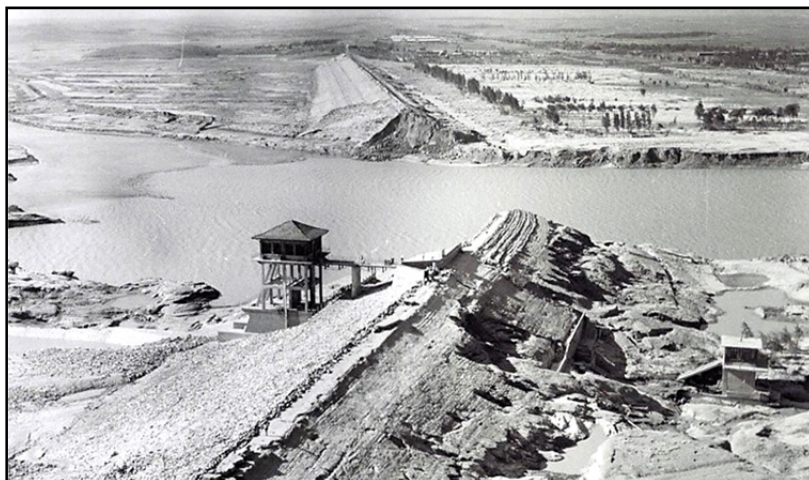
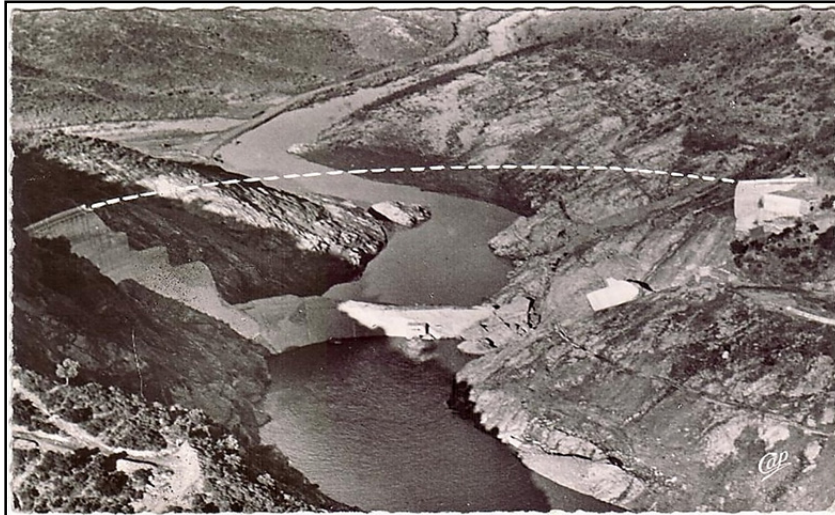


Рис. 1. Прорыв плотины “Байньцяо” (фото из Интернета).



*Рис. 2. Разрушенная плотина “Мальпасе” (фото из Интернета).*

Часты аварии или полное разрушение плотин водохранилищ из-за переполнения их чаши вследствие обильных осадков (обычно в несколько раз выше нормы): та же плотина Байныця, прорыв дамбы на р. Фухэ – Китай, июнь 2010г. (рис. 3); плотина “Кызылагаш” -Казахстан, март 2010г., сильные дожди и интенсивное таяние снегов [4].



*Рис. 3. Прорыв дамбы на р. Фухэ (Китай) (фото из Интернета).*

В 1928г. обрушилась целиком плотина “Сент-Френсис” высотой 59 м (США, штат Калифорния) вследствие разрушения фундамента из-за наличия под восточной её опорой палеоразлома и недостаточной инженерной бдительности при появлении первых усадочных трещин в бетоне в процессе строительства [3].

Строительство плотин и эксплуатация водохранилищ в горных странах, каковой является и Армения, связано с определенными особенностями: высокая сейсмичность; узкие и глубокие долины рек; сложное геологическое строение склонов речных долин; широкое распространение опасных склоновых процессов, которые могут воздействовать на устойчивость плотин.

### **Материал и методы**

Используемые в настоящей работе данные собраны авторами в процессе полевых исследований в Армении, а также имеющихся публикаций по авариям плотин в мире.

## Результаты и обсуждение

В Армении имеется более 80 водохранилищ разных размеров, построенных в основном до 90-х годов XX в. Большинство из них предназначено для создания запасов воды и их использования в сухие сезоны года с целью орошения сельскохозяйственных земель. Из этих водохранилищ 35 имеют объём 1 млн м<sup>3</sup> и более. Наиболее крупными являются Ахурянское (объём 525 млн м<sup>3</sup>), Спандарянское (257 млн м<sup>3</sup>) и Арпиличское (105 млн м<sup>3</sup>). Высота плотин большинства водохранилищ колеблется в пределах от нескольких метров до 50 м. Лишь 8 плотин имеют высоту более 50 м. Из них самыми высокими являются плотины водохранилищ Гехи (90 м), Спандаряна (83 м), Азата (76 м) и Гергера (74 м).

Безопасность существования водохранилищ зависит, в первую очередь, от устойчивости плотин: их качественного сооружения, способности выдержать давление огромной массы воды и устоять при сильных землетрясениях. К сожалению, некачественное сооружение ряда плотин привело в разные годы к аварийным ситуациям вплоть до их прорыва с формированием мощного водного потока селевого характера и затоплением жилых и подсобных помещений, а также приусадебных участков в нижнем бьефе.

Наши исследования показали, что все аварии на плотинах водохранилищ Армении были связаны с человеческим фактором: некачественное строительство тела плотины; использование несоответствующего нормативам заполнителя тела плотины; игнорирование имеющихся поблизости от строящейся плотины оползней, родников и т.п.

Одна из таких аварий произошла на *Мармарикском водохранилище* в ноябре 1974 г. Плотина водохранилища была сооружена в долине р. Мармарик примерно в 2 км вверх по течению от села Артаваз. Однако она обрушилась почти сразу после завершения работ по её строительству, ещё до заполнения чаши водой. Плотина осела в сторону нижнего откоса на 9-18 м и нарушила ядро и низовую призму. Это обрушение было вызвано ошибкой в проектировании и, частично, в технологии по укладке и уплотнении грунтов в теле плотины. На обрушение плотины повлияло и то, что с правого борта долины реки в тело плотины разгружались два родника, постоянно увлажняя грунт. Однако это обстоятельство было проигнорировано строителями.

Одновременно, в качестве заполнителя тела плотины использовались довольно влажные глины, т.к. в период укладки грунта в плотину выпало много осадков, и все окрестные глины были сильно увлажнены. Все это вместе и явилось причиной аварии на плотине.

Если бы обрушение плотины произошло чуть позже, после заполнения водой чаши водохранилища, то эта авария имела бы катастрофический характер, ибо тогда сформировался бы паводок селевого характера, который бы уничтожил все сооружения на своем пути (а это села Артаваз, Пьюник, детские дома отдыха, базы практики студентов ЕГУ и Политехнического университета и др.).



Разрушенную плотину разобрали в 2006 г. и на её месте построили новую плотину высотой 24,5 м, которую сдали в эксплуатацию в 2012 году. К 2014 г. чаша Мармарикского водохранилища была заполнена полностью (рис. 4-5).

*Рис. 4. Плотина Мармарикского водохранилища (фото В.Бойнагряна).*

*Рис. 5. Мармарикское водохранилище: в правой части снимка – полузатопленный “язык” старого оползня, сошедшего со склона северной экспозиции Цахкуняцкого хребта (фото В.Бойнагряна).*



Весной 1976 г. произошел прорыв земляной плотины высотой 9 м на *Агаракском водохранилище* (Эчмиадзинский район) из-за её некачественного сооружения. Дно чаши водохранилища и верхний откос тела плотины были покрыты специальной полиэтиленовой пленкой, поверх которой был уложен слой глины толщиной 20 см вместо предусмотренных по проекту 50 см. В ядро плотины не был внесен необходимый по проекту объем цемента (по признанию самого бригадира строителей). Когда водохранилище заполнили водой, в теле плотины под воздействием давления воды образовалась щель. В эту щель втянуло полиэтиленовую пленку, которая довольно быстро прорвалась и в образовавшееся отверстие хлынула вода. В результате этого тело плотины оказалось прорезанным на всю его высоту, и за считанные минуты вся вода из водохранилища вытекла в нижний бьеф, сформировав мощный селевой поток.

Этот водо-грязевый поток высотой волны более 2 м обрушился на жилые и подсобные помещения сельчан по пути своего следования. Было затоплено несколько домов, в которых под тяжестью слоя грязи и камней полы обрушились в подвальные помещения вместе со всей мебелью и домашним имуществом. Селевая волна дошла до автодороги Ереван-Эчмиадзин (рис. 6 -9).



*Рис. 6. Прорванное на всю высоту (9 м) тело плотины (фото В. Бойнагряна).*



*Рис. 7. Порванная полиэтиленовая пленка на месте прорыва плотины (фото В. Бойнагряна).*



*Рис. 8. Остатки воды, вытекающей из водохранилища (фото В. Бойнагряна).*



*Рис. 9. Дома, пострадавшие от селевого потока при прорыве Агаракской плотины (фото В.Бойнагряна).*

В январе 2012 г. в правой части плотины *Мецаванского водохранилища* (верховье р. Ташир, Лорийская область) появились трещины вследствие разрушения железобетонных конструкций из-за использования некачественного цемента (или его недостаточного количества) и началась утечка воды (рис. 10). Эта утечка воды могла привести к расширению трещин и созданию аварийной ситуации. Лишь своевременное понижение уровня воды в водохранилище, а затем и его полное осушение в феврале 2020 г. помогло предотвратить катастрофу.



*Рис. 10. Утечка воды через трещину в теле Мецаванской плотины (фото из Интернета).*

## **Выводы**

Плотины наиболее крупных водохранилищ Армении имеют возраст от 36 до 74 лет, а самые высокие из них – 36-49 лет. Ясно, что с течением времени железобетонные конструкции изнашиваются не только вследствие выветривания бетона из-за температурных колебаний и периодического процесса “намокание – высыхание“ при изменениях уровня воды в водохранилище, но и вследствие первоначального некачественного строительства с нарушением принятых норм (такие нарушения встречаются нередко – см. выше). Поэтому крайне необходимы контроль за состоянием плотины и принятие срочных мер при появлении признаков нарушения их целостности (появление трещин, отслаивание бетона, обнажение металлических конструкций и т.п.). Одновременно необходим мониторинг склонов речной долины, на которые опирается плотина и которые формируют чашу водохранилища, с целью выявления признаков оползневых подвижек и возможных обвалов. Оползни и обвалы спровоцируют выброс из чаши водохранилища водяного вала значительной высоты, который может повредить плотину вплоть до её полного разрушения и сформировать селевой поток со всеми негативными последствиями.

## **ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА**

1. Ахмедов М.А., Салямова К.Д. Землетрясения и безопасность плотин. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, № 5, 2015, с. 91-94.
2. [ozeraireki.ru/sooruzheniya/krupnejshie-razrusheniya-plotin](http://ozeraireki.ru/sooruzheniya/krupnejshie-razrusheniya-plotin)
3. [cawater-info.net/bk/dam-safety/catastrophes.htm](http://cawater-info.net/bk/dam-safety/catastrophes.htm)
4. [ru.wikipedia.org/wiki/Прорыв\\_плотины\\_в\\_Кызылагаше](http://ru.wikipedia.org/wiki/Прорыв_плотины_в_Кызылагаше)



## РОЛЬ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В АВАРИЯХ НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ АРМЕНИИ

Бойнагрян В., Айриянц А.

### Реферат

Рассмотрены причины аварии на трех водохранилищах Армении, связанные с человеческим фактором: нарушение строительных норм при возведении плотин (использование некачественного цемента или его недостаточного количества, влажных глин), игнорирование наличия рядом с возводимой плотинной родников и т.п.

**Ключевые слова:** Аварии, водохранилища, плотины, факторы.

## ადამიანის ფაქტორის როლი ავარიებში სომხეთის წყალსაცავებზე

ბოინაგრიანი ვ., აირიანცი ა.

### რეზიუმე

ჩვენ შევისწავლეთ სომხეთში სამ წყალსაცავში მომხდარი უბედური შემთხვევების მიზეზები, რომლებიც დაკავშირებულია ადამიანურ ფაქტორთან: კაშხლების მშენებლობის დროს სამშენებლო რეგულაციების დარღვევა (დაბალი ხარისხის ცემენტის გამოყენება ან მისი არასაკმარისი რაოდენობა, სველი თიხები), კაშხლის მახლობლად წყაროების არსებობის იგნორირება და ა.შ.

**საკვანძო სიტყვები:** უბედური შემთხვევები, წყალსაცავები, კაშხლები, ფაქტორები.

## THE ROLE OF THE HUMAN FACTOR IN ACCIDENTS ON THE RESERVOIRS OF ARMENIA

Boynagryan V., Airiyants A.

### Abstract

We have examined the causes of accidents at three reservoirs in Armenia related to the human factor: violation of building regulations during the construction of dams (use of low-quality cement or its insufficient quantity, wet clays), ignoring the presence of springs near the dam being built, etc.

**Keywords:** Accidents, reservoirs, dams, factors.

## STATISTICAL ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN MONTHLY AND CUMULATIVE MULTI-MONTH SUMS OF PRECIPITATION WITH THE NUMBER OF LANDSLIDES IN THE REGIONS OF GEORGIA

<sup>1</sup>Amiranashvili A., <sup>2</sup>Brocca L., <sup>1</sup>Chelidze T., <sup>1</sup>Kiria T., <sup>1</sup>Svanadze D.,  
<sup>3</sup>Tsamalashvili T., <sup>1</sup>Varamashvili N.

<sup>1</sup>*M. Nodia Institute of Geophysics of I. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*

<sup>2</sup>*Research Institute for Geo-Hydrological Protection, Perugia, Italy*

<sup>3</sup>*A. Janelidze Geological Institute of I. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*  
avtandilamiranashvili@gmail.com

### Introduction

Landslides are known to be a type of natural disaster and are widespread almost everywhere [1-4], including in Georgia [5-11]. These processes often lead to the destruction of residential buildings and utility structures, serious damage to roads and bridges, the failure of various life support systems, significant material damage, threats to human life and health, etc. [8, 9, 12].

For example, in [11] results of statistical analysis of data from the Geological Department of the Environment Agency of Georgia on the annual number of re-activated and newly formed landslides (LS) for the period from 1995 to 2024 are presented. The number of landslides varies in the range from 56 to 1360 with an average annual value of 581. The trend of the LS values has the form of a polynomial of the seventh degree.

Landslide activation is influenced by many natural and anthropogenic factors, including slope steepness, lithology, vegetation, seismic activity, construction work in landslide-prone areas, and others. Prolonged, intense, or extreme precipitation events often accelerate landslide formation [13].

Recently, a series of studies have been conducted in Georgia to identify the short-term (hours, days, months) [14-18] and long-term (years, climate scale) effects of precipitation on the activation of landslides and mudflows [19-23]. These studies utilized landslide and mudflow data presented in [8, 9], as well as ground-based, radar, and satellite precipitation data, taking into account their representativeness depending on the distance from the measurement point [24-28]. A detailed review of these studies is presented in [28].

In our last work [23] the results of statistical analysis of the number of re-activated and new cases of damaging landslides in 11 regions of Georgia and 59 municipalities included in them, as well as the relationship of landslide processes with atmospheric precipitation in the period from 2015 to 2024 are presented. The area of the municipalities varies from 56.7 km<sup>2</sup> (Kutaisi) to 3104 km<sup>2</sup> (Mestia). The total area under study is 56364 km<sup>2</sup>. Over a ten-year period, 6998 damaging landslides were recorded (out of a total of 9978). In particular, the following results were obtained. Based on the number of landslides in year, normed to 100 km<sup>2</sup> (LS<sub>100</sub>), it is proposed to introduce the following five danger categories: “Low” (LS<sub>100</sub> = 0.02÷1), “Moderate” (LS<sub>100</sub> = >1÷2), “High” (LS<sub>100</sub> = >2÷3), “Very High” (LS<sub>100</sub> = >3÷4), “Extreme” (LS<sub>100</sub> = >4). It was found that 28 municipalities belong to the landslide hazard category "Low", 10 municipalities – to the category "Moderate", 9 municipalities – to the cate-

gory "High ", 6 municipalities – to the category "Very High " and 6 municipalities – to the category "Extreme". As the average annual amount of precipitation increases, the number of landslides also increases. Connection of  $LS_{100}$  values with mean annual sum of atmospheric precipitation by municipalities and regions of Georgia have a power-law function.

This work is a continuation of previous studies related to the study of the relationship between precipitation and the activation of landslide processes on a time scale of 1-12 months (1: sum of precipitation in the month with landslide occurrence; 2-12: cumulative precipitation sums in the month and up to the month in which the landslide occurred).

Some results of statistical analysis of the relationship between monthly and cumulative multi-month sums of precipitation with the number of landslides in the 12 regions of Georgia are presented below.

### Study area, material and methods

Study area is Georgia and their 12 regions (Abkhazeti; Samegrelo-Zemo Svaneti; Guria; Adjara; Samtskhe-Javakheti; Kvemo Kartli; Tbilisi; Kakheti; Mtskheta-Mtianeti; Shida Kartli; Imereti; Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti) – Table 1, Fig. 1.

Data on the number of landslides with a known month of their activation were taken from the catalog [8]. Period of observation – from 1961 to 2022; landslide occurrence height – from 15 (Abkh) to 3773 (M-M) m; number of landslides – from 5 (KK) to 219 (Abkh), total – 788 (Table 1, Fig. 1).

Data from the National Environmental Agency about monthly sum of atmospheric precipitations for 78 meteorological stations are used. List of meteorological stations, their coordinates and locations in Table 2 and Fig. 2 are presented. Precipitation data from missing weather stations for some municipalities were compensated by data from the nearest weather stations, taking into account their representativeness [25].

In the proposed work the analysis of data is carried out with the use of the standard statistical analysis methods [29].

The following designations will be used below: Max – maximal values; Min – minimal values; Mean – average values; St Dev – standard deviation; St Err – standard error;  $R^2$  – coefficient of determination; R – coefficient of linear correlation; Lat – north latitude,  $N^\circ$ ; Lon – east longitude,  $E^\circ$ ; H – altitude above sea level, m; landslide – LS; P – precipitation sum, mm; P1 – precipitation sum in month with LS activation, mm; P2...P12 – cumulative precipitation sums in the month with landslide and 1 month up to landslide occurrence, ..., P12 – cumulative precipitation sums in the month with landslide and 11 months up to landslide occurrence, mm. In the text below, the dimensions of precipitation (mm) are often omitted.

**Table 1. Study regions, period and number of years of observation, number of landslides and their heights for known months of their occurrence in Georgia.**

Region	Region, Abbr.	Observation period	Number of years	Number of landslides	Landslide occurrence height, m		
					Min	Max	Mean
1.Abkhazeti	Abkh	1961-1989	11	219	15	1846	670
2.Samegrelo-Zemo	S-ZS	1968-2022	13	62	33	2278	765
3.Guria	Gur	2009-2022	11	40	30	1135	233
4.Adjara	Adj	1968-2022	12	106	15	1846	670
5.Samtskhe-Javakheti	S-J	1973-2022	12	58	797	2468	1301
6.Kvemo Kartli	KK	2002-2022	5	5	668	1295	868
7.Tbilisi	Tb	2001-2022	11	47	435	1376	773

8.Kakheti	Kakh	1974-2022	9	22	440	1974	865
9.Mtskheta-Mtianeti	M-M	1968-2022	12	25	455	3773	1409
10.Shida Kartli	Sh K	1983-2022	14	25	548	1405	820
11.Imereti	Im	1963-2022	18	98	21	980	451
12.Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti	R-L KS	1968-2022	15	81	372	1576	901
Georgia	Geo	1961-2022	39	788	4	3773	604

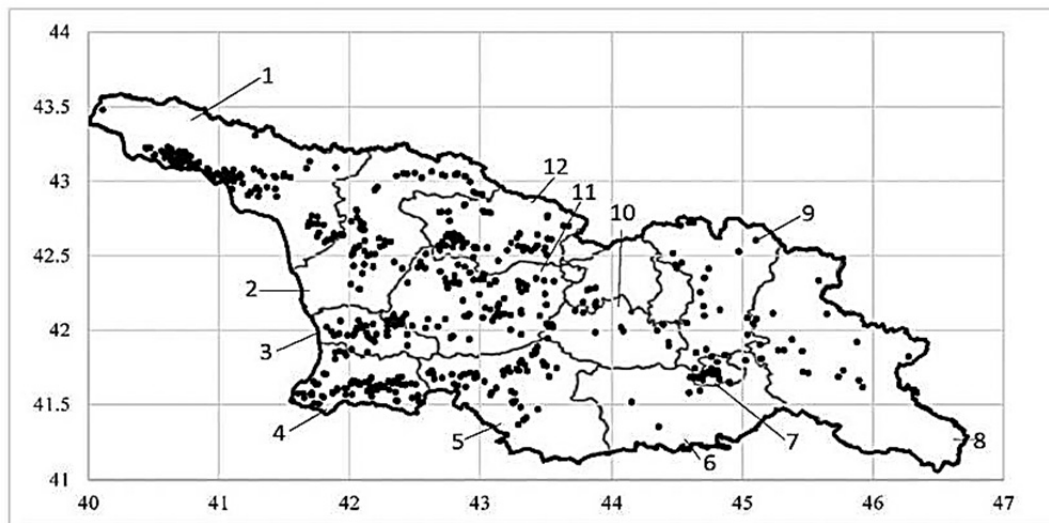


Fig. 1. Landslide distribution map for known months of occurrence. The numbers indicating the contours of the regions correspond to the numbers before the names of the regions in Table 1.

**Table 2. List of meteorological stations whose precipitation data were used for known months of landslide occurrence. AWS – automatic weather station**

Station	Lon, N°	Lat, E°	H, m	Station	Lon, N°	Lat, E°	H, m
Abastumani	41.75	42.83	1265	Magharoskari	42.29	44.87	958
Akhalkalaki	41.41	43.49	1716	Martvili	42.38	42.28	176
Akhaltzikhe	41.64	42.99	989	Martvili AWS	42.38	42.28	176
Akhmeta	42.04	45.21	545	Mestia	43.04	42.73	1441
Alpana	42.56	42.83	560	Mestia AWS	43.04	42.73	1441
Ambrolauri	42.52	43.15	544	Mirveti	41.53	41.72	60
Babushera	42.87	41.14	6	Mukhrani AWS	41.93	44.58	550
Bakmaro AWS	41.85	42.32	1926	Nokalakevi	42.36	42.19	115
Bakuriani	41.74	43.52	1665	Orbeti AWS	41.66	44.53	1306
Batumi_Airport	41.6	41.61	11	Orpiri AWS	42.35	42.86	457
Bichvinta	43.15	40.34	4	Fasanauri	42.35	44.69	1070
Borjomi	41.84	43.38	790	Sabuetti Mta	42.03	43.47	1242
Chkhari AWS	42.27	43.02	465	Sachkhere	42.33	43.41	455
Chokhatauri	42.02	42.24	144	Sagarejo	41.74	45.33	802
Dimi AWS	42.12	42.85	200	Sakara	42.12	43.03	148
Dusheti AWS	42.09	44.71	1038	Samgori	41.72	44.9	549
Gagra	43.28	40.27	7	Samtredia	42.16	42.34	28
Gali	42.63	41.74	50	Samtredia AWS	42.2	42.42	42

Glola	42.7	43.64	1280	Senaki	42.27	42.06	34
Gordi AWS	42.47	42.58	988	Senaki AWS	42.31	42.12	388
Gori	41.98	44.11	609	Shovi	42.7	43.68	1509
Gudauri AWS	42.5	44.51	2915	Sukhumi	43.01	41.04	116
Gudauta	43.1	40.64	46	Tbilisi	41.76	44.76	427
Gurjaani	41.74	45.8	410	Telavi	41.92	45.48	568
Keda	41.6	41.94	256	Tianeti	42.11	44.97	1099
Khaishi	42.94	42.19	730	Tkibuli	42.35	43	593
Kharagauli AWS	42.03	43.23	597	Tsageri AWS	42.64	42.79	621
Khashuri	41.99	43.6	690	Tsageri	42.65	42.77	474
Khertvisi	41.48	43.29	1250	Tsalka	41.6	44.09	1458
Khulo	41.64	42.31	946	Tseva AWS	42.12	43.17	448
Kobi AWS	42.56	44.52	1973	Tskaltubo AWS	42.35	42.66	452
Kobuleti	41.85	41.78	7	Tskhinvali	42.23	43.97	862
Kutaisi	42.26	42.7	113	Tskhratskaro	41.69	43.52	2466
Kvezani	42.84	41.69	268	Tsnori	41.65	45.97	223
Lagodekhi	41.77	46.24	429	Uravi AWS	42.65	43.32	1742
Lata	43.03	41.48	299	Zekari Gadasavli	41.83	42.86	2180
Legakhare	42.6	42.17	267	Zemo Chaladidi	42.22	41.79	4
Lentekhi	42.79	42.72	731	Zestafoni	42.10	43.05	160
Luji	42.85	43.02	2587	Zugdidi	42.51	41.87	118

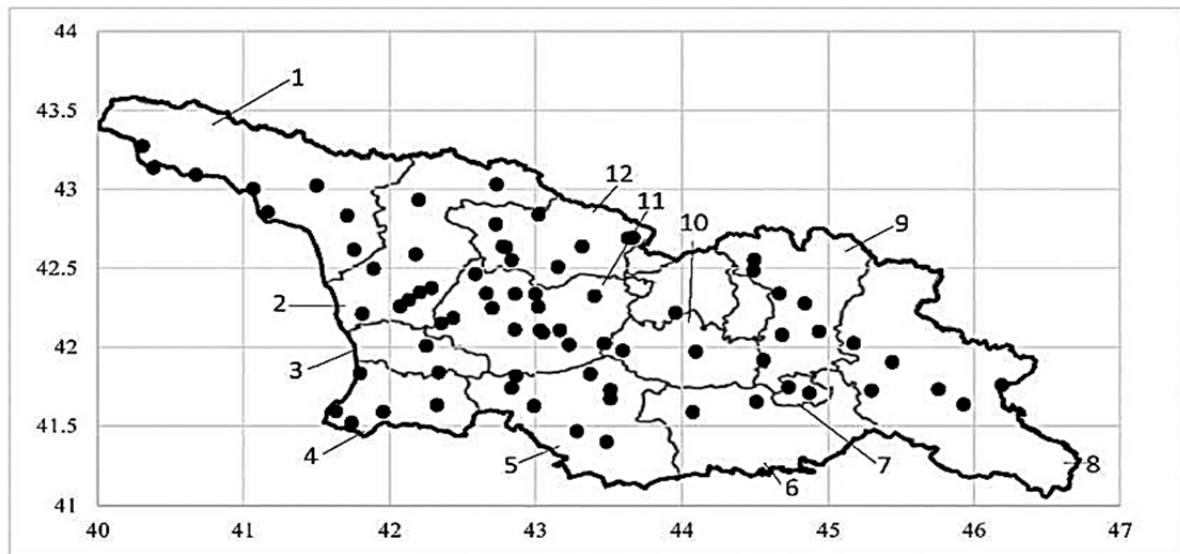


Fig. 2. Distribution map of meteorological stations for known months of landslide occurrence.

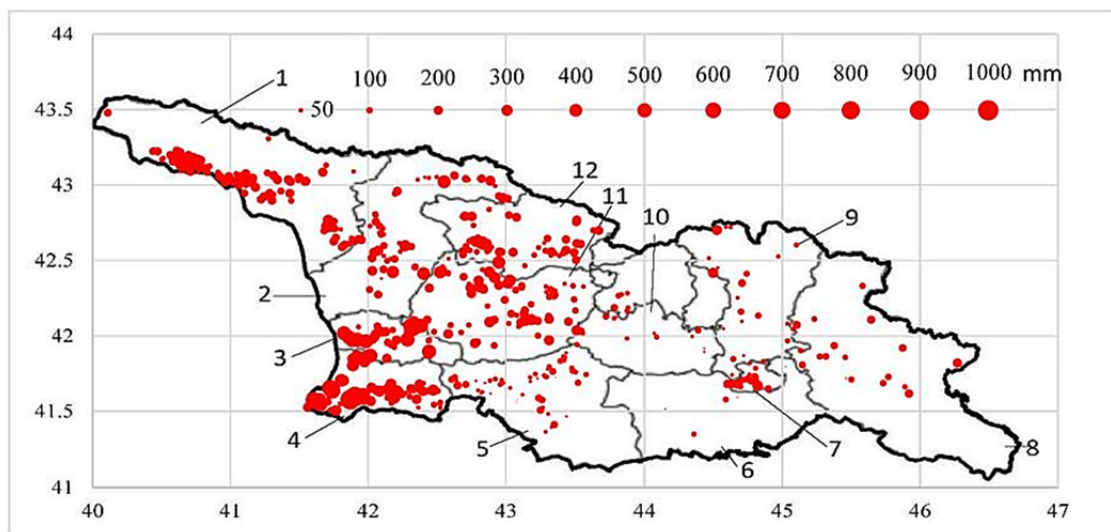
The degree of correlation was determined in accordance with [29]: very high correlation ( $0.9 \leq R \leq 1.0$ ); high correlation ( $0.7 \leq R < 0.9$ ); moderate correlation ( $0.5 \leq R < 0.7$ ); low correlation ( $0.3 \leq R < 0.5$ ); negligible correlation ( $0 \leq R < 0.3$ ).

## Results and discussion

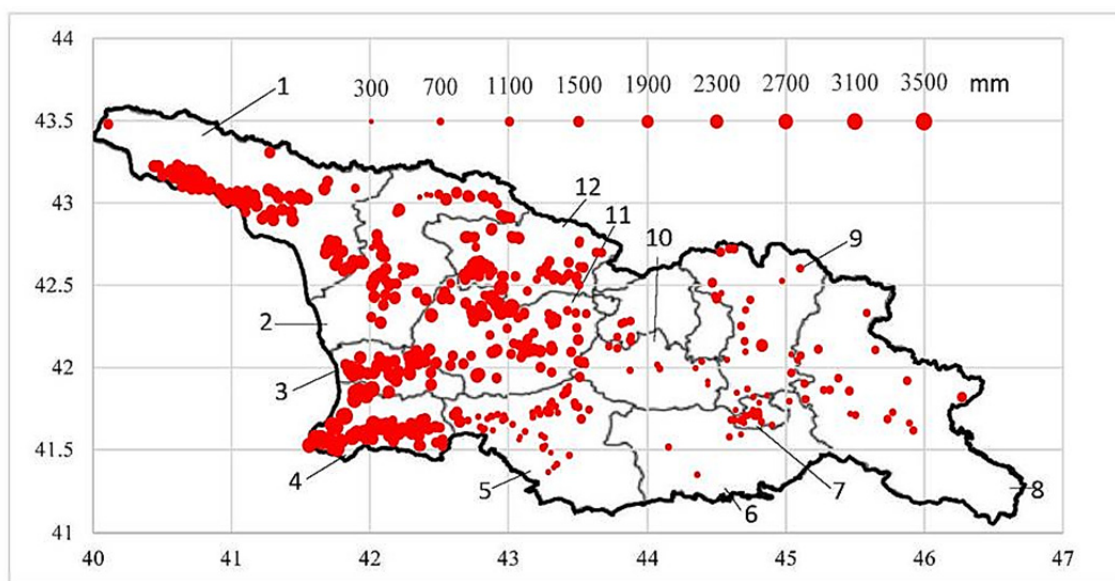
Results in Tables 3 – 15 and Fig. 3 – 10 are presented. In Tables 3-15 statistical characteristics of the cumulative sum of precipitation related to landslide processes in Georgia and its regions are presented.

**Table 3. Statistical characteristics of the cumulative sum of precipitation related to landslide processes in Georgia.**

Month	Cumulative precipitation sum, mm.											
	P12	P11	P10	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1
Min	332	163	163	163	163	128	123	73	29	17	10	0.4
Max	3400	3236	3142	3061	2829	2647	1910	1800	1760	1520	1203	964
Mean	1378	1272	1163	1038	921	803	685	573	471	359	246	134
St Dev	583	543	498	447	409	368	323	282	248	207	155	106
St Err	20.8	19.4	17.7	16.0	14.6	13.1	11.5	10.0	8.8	7.4	5.5	3.8
99%_Low	1325	1222	1117	997	884	769	655	547	449	340	232	125
99%_Upp	1432	1322	1208	1079	959	837	714	599	494	378	261	144
Count	788	788	788	788	788	788	788	788	788	788	788	788
99%(+/-)	53.6	49.9	45.7	41.1	37.6	33.8	29.7	25.9	22.8	19.0	14.3	9.8



*Fig. 3. Map of distribution of monthly precipitation sums in the months with landslides (P1).*



*Fig. 4. Map of distribution of cumulative precipitation sums in the month with landslide and 11 months up to landslide occurrence (P12).*

Fig. 3 and 4 show examples of distribution maps of P1 and P12 values in the territory of Georgia.

In particular, as can be seen from these Figures and Table 3, the distribution of P1 and P12 values in the study area is extremely uneven. Values of P1 vary from 0.4 (S-ZS, Jikhashkari village, landslide activation in August 2022) to 964 (Adj, Makhuntseti and Lower Agar villages, landslides activation in October 2017), with an average value of 134 mm (Table 3, Fig. 3, catalog [8]); P12 values vary from 332 (Sh K, Kavtiskhevi village, landslide activation in March 2019) to 3400 (Gur, Tkhinvali village, landslide activation in June 2022), with an average value of 1378 mm (Table 3, Fig. 4, catalog [8]).

In Tables 4-15 statistical characteristics of the cumulative sum of precipitation related to landslide processes in 12 regions of Georgia are presented.

**Table 4. Statistical characteristics of the cumulative sum of precipitation related to landslide processes in Abkhazeti.**

Month	Cumulative precipitation sum, mm											
	P12	P11	P10	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1
Min	627	564	553	502	468	438	335	306	269	111	56	17
Max	2171	2112	1755	1645	1515	1419	1312	1090	931	731	520	306
Mean	1580	1461	1319	1149	1005	864	735	613	513	378	258	136
St Dev	282	270	237	231	235	223	194	164	141	127	91	57
St Err	19.1	18.3	16.1	15.7	15.9	15.1	13.1	11.1	9.5	8.6	6.2	3.9
99%_Low	1531	1414	1277	1108	964	825	701	584	488	356	242	126
99%_Upp	1629	1508	1360	1189	1046	903	769	642	537	400	274	146
Count	219	219	219	219	219	219	219	219	219	219	219	219
99%(+/-)	49.2	47.1	41.4	40.4	41.1	38.9	33.8	28.6	24.5	22.2	15.9	9.9

Abkhazeti. P1 values vary from 17 (Saberio village, landslide activation in September 1984) to 306 (Pirveli Kopiti village, landslides activation in July 1983), with an average value of 136 mm; P12 values vary from 627 (Tsoukhva, Baghikita, Abakhuamcha, Bintkha, Primorskoe and Aualitsa villages, landslides activation in October 1982) to 2171 (Dikhazurga village, landslide activation in September 1982), with an average value of 1580 mm (Table 4, catalog [8]).

**Table 5. Statistical characteristics of the cumulative sum of precipitation related to landslide processes in Samegrelo-Zemo Svaneti.**

Month	Cumulative precipitation sum, mm.											
	P12	P11	P10	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1
Min	358	163	163	163	163	163	163	134	109	65	39	0.4
Max	2078	1843	1821	1772	1674	1470	1372	1225	1041	893	710	418
Mean	1340	1219	1137	1032	919	802	691	584	470	356	250	127
St Dev	446	423	400	374	349	325	306	278	237	204	161	93
St Err	57.2	54.2	51.2	47.9	44.7	41.6	39.2	35.5	30.3	26.1	20.6	11.9
99%_Low	1193	1079	1006	908	804	695	590	492	392	289	197	97
99%_Upp	1487	1358	1269	1155	1034	910	792	675	548	423	303	158
Count	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
99%(+/-)	147.2	139.6	131.8	123.5	115.1	107.2	100.9	91.6	78.1	67.2	53.0	30.6

Samegrelo-Zemo Svaneti. P1 values vary from 0.4 (Jikhashkari village, landslide activation in August 2022) to 418 (Hebudi village, landslides activation in August 2017), with an average value of 127 mm; P12 values vary from 358 (Nodashi village, landslide activation in November 2016) to 2078 (Obuji village, landslide activation in May 2012), with an average value of 1340 mm (Table 5, catalog [8]).

**Table 6. Statistical characteristics of the cumulative sum of precipitation related to landslide processes in Guria.**

	Cumulative precipitation sum, mm.											
Month	P12	P11	P10	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1
Min	996	947	840	765	651	568	463	305	223	118	86	4
Max	3400	3236	3142	3061	2829	2647	1687	1480	1327	1036	818	519
Mean	1866	1755	1602	1400	1239	1073	863	714	581	438	320	198
St Dev	505	466	464	398	366	346	259	219	213	197	177	155
St Err	80.9	74.6	74.4	63.7	58.7	55.3	41.5	35.1	34.1	31.5	28.3	24.8
99%_Low	1658	1563	1410	1236	1087	931	756	624	493	357	247	135
99%_Upp	2075	1947	1793	1564	1390	1216	970	805	669	519	393	262
Count	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
99%(+/-)	208.4	192.2	191.6	164.2	151.2	142.5	107.0	90.3	87.9	81.1	72.9	63.9

Guria. P1 values vary from 4 (Nagomari village, landslide activation in September 2015) to 519 (Konchkati village, landslide activation in September 2022), with an average value of 198 mm; P12 values vary from 996 (Tkhinvali village, landslide activation in September 2021) to 3400 (Tkhinvali village, landslide activation in June 2022), with an average value of 1866 mm (Table 6, catalog [8]).

**Table 7. Statistical characteristics of the cumulative sum of precipitation related to landslide processes in Adjara.**

	Cumulative precipitation sum, mm.											
Month	P12	P11	P10	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1
Min	996	692	632	623	582	552	442	336	197	145	88	17
Max	3314	2779	2474	2376	2235	2042	1910	1800	1760	1520	1203	964
Mean	1939	1787	1636	1484	1329	1171	995	815	665	527	354	196
St Dev	594	516	461	404	386	370	372	369	367	331	262	189
St Err	57.9	50.3	45.0	39.5	37.7	36.1	36.3	36.0	35.9	32.3	25.6	18.5
99%_Low	1790	1657	1520	1383	1232	1077	902	722	573	444	288	149
99%_Upp	2089	1917	1752	1586	1426	1264	1089	908	758	611	420	244
Count	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106
99%(+/-)	149.2	129.7	116.0	101.7	97.0	93.1	93.5	92.7	92.4	83.2	66.0	47.6

Adjara. P1 values vary from 17 (Akho, Baladzeebi and Chinkadzeebi villages, landslides activation in May 1968) to 964 (Makhuntseti and Lower Agar villages, landslides activation in October 2017), with an average value of 196 mm; P12 values vary from 996 (Zeda Makhuntseti, Takidzeebi, Chvana and Danisparauli villages, landslides activation in September 2021) to 3314 (Khala village, landslide activation in September 2016), with an average value of 1939 mm (Table 7, catalog [8]).



**Table 8. Statistical characteristics of the cumulative sum of precipitation related to landslide processes in Samtskhe-Javakheti.**

Month	Cumulative precipitation sum, mm.											
	P12	P11	P10	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1
Min	364	284	258	252	230	175	134	76	57	50	28	2
Max	1734	1692	1518	1427	1401	1349	1231	760	590	431	268	166
Mean	696	632	574	526	472	419	364	295	236	176	112	57
St Dev	277	257	233	224	201	187	168	122	100	80	56	38
St Err	36.7	34.0	30.8	29.6	26.6	24.8	22.2	16.2	13.2	10.6	7.4	5.0
99%_Low	601	544	494	450	404	355	306	253	202	149	93	44
99%_Upp	790	720	653	602	541	483	421	337	270	203	131	70
Count	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
99%(+/-)	94.5	87.6	79.5	76.3	68.5	63.9	57.3	41.7	34.1	27.2	19.0	13.0

Samtskhe-Javakheti. P1 values vary from 2 (Kodiani, Muskhi and Uraveli villages, landslides activation in October 1074) to 166 (Zarzma village, landslide activation in March 2018), with an average value of 57 mm; P12 values vary from 364 (Muskhi and Uraveli villages, landslides activation in October 1974) to 1734 (Zarzma village, landslide activation in March 2018), with an average value of 696 mm (Table 8, catalog [8]).

**Table 9. Statistical characteristics of the cumulative sum of precipitation related to landslide processes in Kvemo Kartli.**

Month	Cumulative precipitation sum, mm.											
	P12	P11	P10	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1
Min	449	409	347	273	219	210	131	73	29	17	12	3
Max	620	560	528	503	500	494	473	349	295	185	136	91
Mean	553	489	437	397	354	324	270	190	148	105	77	36
St Dev	71	60	70	87	101	104	132	121	121	80	60	44
St Err	35.6	30.1	35.0	43.3	50.7	51.9	65.9	60.4	60.5	40.1	30.1	21.8
99%_Low	462	411	347	285	223	191	100	35	0	1	0	0
99%_Upp	645	566	527	508	484	458	440	346	304	208	155	92
Count	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
99%(+/-)	91.6	77.5	90.1	111.6	130.5	133.8	169.7	155.5	155.7	103.3	77.4	56.1

Kvemo Kartli. P1 values vary from 3 (Asureti village, landslide activation in March 2017) to 91 (Sagharasheni village, landslides activation in April 2019), with an average value of 36 mm; P12 values vary from 449 (Asureti village, landslide activation in March 2017) to 620 (Gomareti village, landslide activation in February 2022), with an average value of 553 mm (Table 9, catalog [8]).

**Table 10. Statistical characteristics of the cumulative sum of precipitation related to landslide processes in Tbilisi.**

Month	Cumulative precipitation sum, mm.											
	P12	P11	P10	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1
Min	373	286	210	187	164	128	123	104	58	23	20	3
Max	685	631	598	563	477	430	427	408	372	322	284	267
Mean	507	463	436	399	361	323	296	274	241	204	150	100
St Dev	72	81	102	101	102	98	102	112	110	99	67	55

St Err	10.7	12.0	15.1	15.0	15.1	14.5	15.0	16.6	16.2	14.6	9.9	8.1
99%_Low	480	432	397	360	322	286	257	232	199	166	124	79
99%_Upp	535	493	475	437	400	360	335	317	282	242	175	121
Count	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
99%(+/-)	27.5	30.9	38.9	38.5	38.8	37.3	38.6	42.6	41.8	37.7	25.5	21.0

Tbilisi. P1 values vary from 3 (landslide activation in January 2019) to 267 (Krtsanisi ravine, landslides activation in May 2012), with an average value of 100 mm; P12 values vary from 373 (landslide activation in October 2017) to 685 (landslide activation in June 2011), with an average value of 507 mm (Table 10, catalog [8]).

**Table 11. Statistical characteristics of the cumulative sum of precipitation related to landslide processes in Kakheti.**

	Cumulative precipitation sum, mm.											
Month	P12	P11	P10	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1
Min	439	424	399	311	233	191	180	155	71	71	10	7
Max	1246	1090	1080	920	878	790	625	575	492	379	312	213
Mean	787	720	664	588	518	456	397	348	302	258	179	111
St Dev	169	154	154	139	154	142	120	110	108	92	77	54
St Err	36.9	33.7	33.7	30.3	33.7	31.1	26.1	24.0	23.6	20.2	16.9	11.8
99%_Low	692	634	578	510	431	376	330	286	241	206	135	81
99%_Upp	882	807	751	666	605	536	465	410	362	310	222	142
Count	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
99%(+/-)	95.1	86.7	86.7	78.0	86.8	80.0	67.3	61.8	60.9	52.0	43.5	30.4

Kakheti. P1 values vary from 7 (Manavi village, landslide activation in January 2020) to 213 (Lagodekhi, landslides activation in April 2007), with an average value of 111 mm; P12 values vary from 439 (Manavi village, landslide activation in January 2020) to 1246 (Lagodekhi, landslides activation in April 2007), with an average value of 787 mm (Table 11, catalog [8]).

**Table 12. Statistical characteristics of the cumulative sum of precipitation related to landslide processes in Mtskheta-Mtianeti.**

	Cumulative precipitation sum, mm.											
Month	P12	P11	P10	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1
Min	394	380	321	286	228	192	152	97	72	56	41	14
Max	1869	1809	1600	1587	1445	1346	1197	901	744	540	392	248
Mean	761	697	611	543	491	437	391	336	278	211	147	81
St Dev	336	321	284	285	269	263	255	215	185	141	95	68
St Err	68.6	65.6	57.9	58.2	55.0	53.7	52.0	43.8	37.7	28.7	19.3	14.0
99%_Low	584	528	462	393	349	298	257	223	181	137	97	45
99%_Upp	938	866	760	693	633	575	525	449	375	286	196	117
Count	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
99%(+/-)	176.7	169.0	149.1	150.0	141.7	138.3	133.9	112.8	97.1	74.1	49.7	36.0

Mtskheta-Mtianeti. P1 values vary from 14 (Zemo Mleta village, landslide activation in January 2020) to 248 (Dariali village, landslides activation in May 2014), with an average value of 81 mm; P12 values vary from 394 (Mamkoda village, landslide activation in November 2004) to 1869 (Chinti village, landslide activation in May 2018), with an average value of 761 mm (Table 12, catalog [8]).

**Table 13. Statistical characteristics of the cumulative sum of precipitation related to landslide processes in Shida Kartli.**

	Cumulative precipitation sum, mm.											
Month	P12	P11	P10	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1
Min	332	317	271	220	186	167	149	131	62	25	12	9
Max	1268	1223	1200	1141	925	917	899	748	633	539	341	253
Mean	798	733	669	604	534	474	411	343	273	203	140	71
St Dev	267	244	227	210	186	184	175	154	121	105	75	49
St Err	54.6	49.9	46.3	42.8	38.0	37.5	35.8	31.4	24.7	21.5	15.3	10.1
99%_Low	657	604	549	494	436	377	319	262	209	148	100	45
99%_Upp	938	861	788	714	632	570	503	424	336	258	179	97
Count	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
99%(+/-)	140.5	128.4	119.3	110.3	98.0	96.6	92.1	80.8	63.5	55.3	39.4	26.0

Shida Kartli. P1 values vary from 9 (Kaspi, landslide activation in February 2019) to 253 (Chumateleti village, landslides activation in March 2022), with an average value of 71 mm; P12 values vary from 332 (Kavtiskhevi village, landslide activation in March 2019) to 1268 (Khashuri, landslide activation in November 2016), with an average value of 798 mm (Table 13, catalog [8]).

**Table 14. Statistical characteristics of the cumulative sum of precipitation related to landslide processes in Imereti.**

	Cumulative precipitation sum, mm.											
Month	P12	P11	P10	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1
Min	843	707	669	596	550	431	400	314	236	103	80	28
Max	2806	2604	2401	2223	2024	1852	1525	1337	113	804	637	487
Mean	1550	1447	1334	1205	1091	960	828	709	575	430	296	161
St Dev	503	491	465	422	382	343	314	278	239	172	116	87
St Err	51.1	49.9	47.2	42.8	38.8	34.8	31.8	28.2	24.2	17.4	11.8	8.8
99%_Low	1418	1319	1212	1095	991	871	746	636	513	385	266	139
99%_Upp	1682	1576	1455	1315	1191	1050	910	782	637	475	327	184
Count	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
99%(+/-)	131.6	128.4	121.6	110.3	99.9	89.6	82.0	72.7	62.4	44.9	30.4	22.8

Imereti. P1 values vary from 28 (Sochkheti village, landslide activation in October 1966) to 487 (Samtredia, landslides activation in October 2017), with an average value of 161 mm; P12 values vary from 843 (Tsevari village, landslide activation in February 2019) to 2806 (Kisoreti and Sochkheti villages, landslides activation in October 1968), with an average value of 1550 mm (Table 14, catalog [8]).

**Table 15. Statistical characteristics of the cumulative sum of precipitation related to landslide processes in Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti.**

	Cumulative precipitation sum, mm.											
Month	P12	P11	P10	P9	P8	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1
Min	732	714	643	564	509	389	292	258	179	133	65	15
Max	2785	2529	2304	2131	1929	1584	1309	1099	897	747	662	394
Mean	1254	1143	1062	965	845	727	611	509	417	324	220	115
St Dev	341	308	289	274	251	207	179	160	141	125	111	76

St Err	38.1	34.5	32.3	30.7	28.1	23.1	20.0	17.9	15.8	14.0	12.4	8.5
99%_Low	1156	1054	979	886	773	668	559	463	376	288	188	93
99%_Upp	1352	1232	1145	1044	918	787	662	556	457	360	252	137
Count	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
99%(+/-)	98.1	88.8	83.2	79.0	72.3	59.6	51.6	46.1	40.7	36.1	31.9	22.0

Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti. P1 values vary from 15 (Nasperi village, landslide activation in July 2022) to 394 (Tkhmori village, landslides activation in July 1968), with an average value of 115 mm; P12 values vary from 732 (Orbeli village, landslide activation in January 2020) to 2785 (Tkhmori village, landslides activation in July 1968), with an average value of 1254 mm (Table 15, catalog [8]).

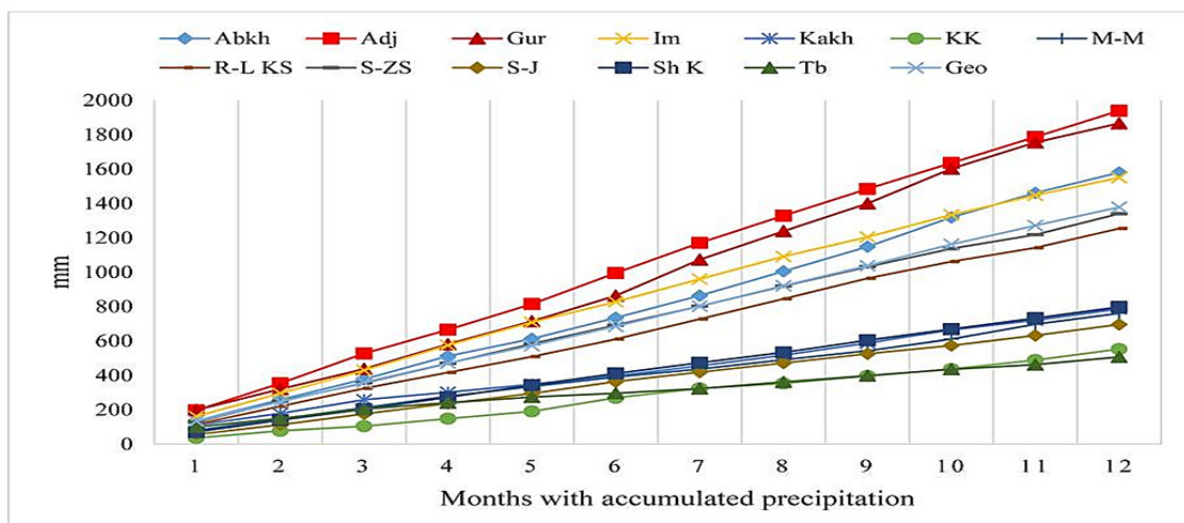


Fig. 5. Dependence of average precipitation values (threshold values) on precipitation duration in months during the month of landslide activation and before landslide activation in Georgia and its individual regions.

In Fig. 5 graphs of dependence of precipitation average values on P1...P12 values in Georgia and its individual regions are presented. These relationships are linear. The corresponding regression equations for Georgia and its regions are presented below.

Abkh:  $P = 132.11x - 24.539$ , ( $R^2 = 0.9972$ ); Adj:  $P = 159.6x + 37.427$ , ( $R^2 = 0.9996$ ); Gur:  $P = 158.34x - 25.095$ , ( $R^2 = 0.9955$ ); Im:  $P = 127.25x + 55.091$ , ( $R^2 = 0.9988$ ); Kakh:  $P = 59.958x + 54.417$ , ( $R^2 = 0.9963$ ); KK:  $P = 47.259x - 25.518$ , ( $R^2 = 0.9943$ ); M-M:  $P = 59.693x + 27.277$ , ( $R^2 = 0.9967$ ); R-L KS:  $P = 104.43x + 3.9399$ , ( $R^2 = 0.9989$ ); S-ZS:  $P = 109.97x + 29.213$ , ( $R^2 = 0.9994$ ); S-J:  $P = 57.796x + 4.2483$ , ( $R^2 = 0.9989$ ); Sh K:  $P = 66.026x + 8.4223$ , ( $R^2 = 0.9998$ ); Tb:  $P = 34.936x + 85.708$ , ( $R^2 = 0.9933$ ); Geo:  $P = 113.74x + 14.411$ , ( $R^2 = 0.9997$ ).  $x$  – month.

In particular, Fig. 5 clearly demonstrates that different sums of precipitation are required to trigger landslides in different regions. In order of increasing precipitation amount, based on P12 values, these regions can be grouped as follows: 1 – Tbilisi and Kvemo Kartli; 2 – Samtskhe-Javakheti, Kakheti, Shida Kartli and Mtskheta-Mtianeti; 3 – Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti, and Samegrelo-Zemo Svaneti; 4 – Imereti and Abkhazeti; 5 – Guria and Adjara. In general, in eastern Georgia (including the Samtskhe-Javakheti region), landslide activation occurs with significantly lower precipitation amounts than in the west. Average P1 values are 76 and 156 mm, respectively, while P12 values are 684 and 1588 mm (Tables 4-15, Fig. 5).

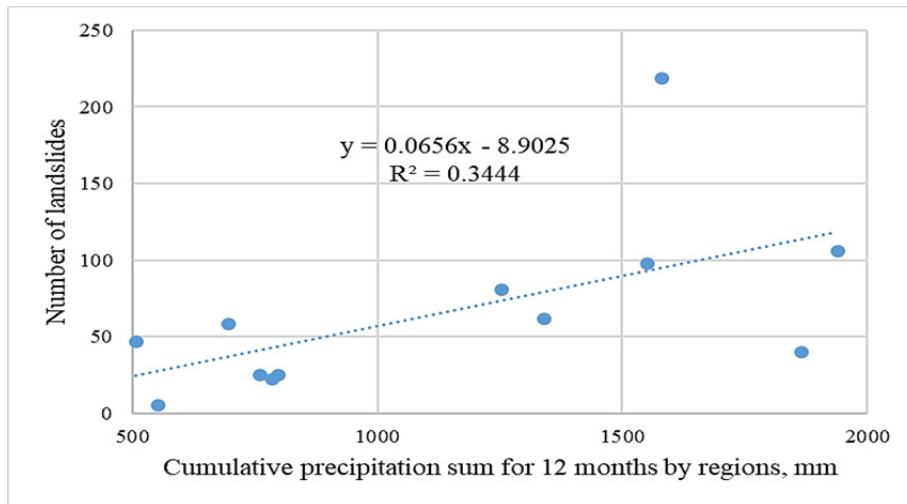


Fig. 6. Linear correlation between the number of landslides and the cumulative precipitation sum for 12 months by regions of Georgia (Table 3-14).  $R = 0.59$ .

Fig. 6 shows an example of a graph of linear correlation and regression between the number of landslides and P12 values by region of Georgia. As follows from this Figure, there is a moderate correlation between the studied parameters, ( $0.5 \leq R < 0.7$ ).

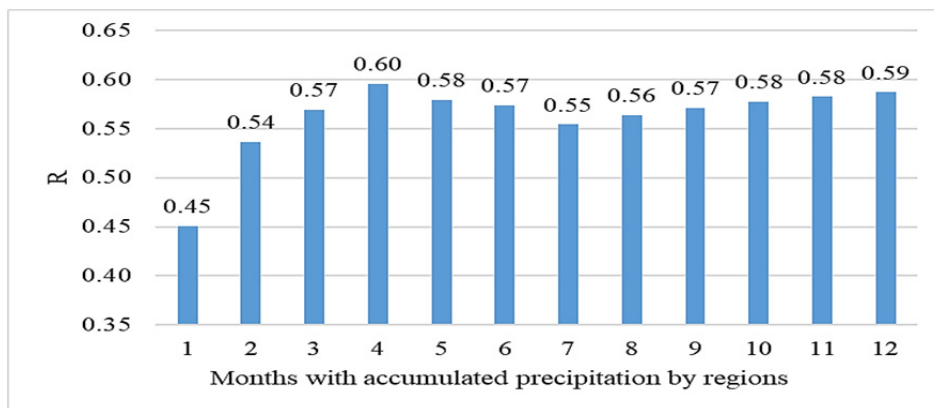


Fig. 7. Linear correlation between the number of landslides and the cumulative sum of precipitation by regions (Table 3-14).

In general, the linear correlation between the number of landslides and the values of P1...P12 by the regions of Georgia for P1 is low ( $0.3 \leq R < 0.5$ ), for P2...P12 – moderate correlation (Fig. 6).

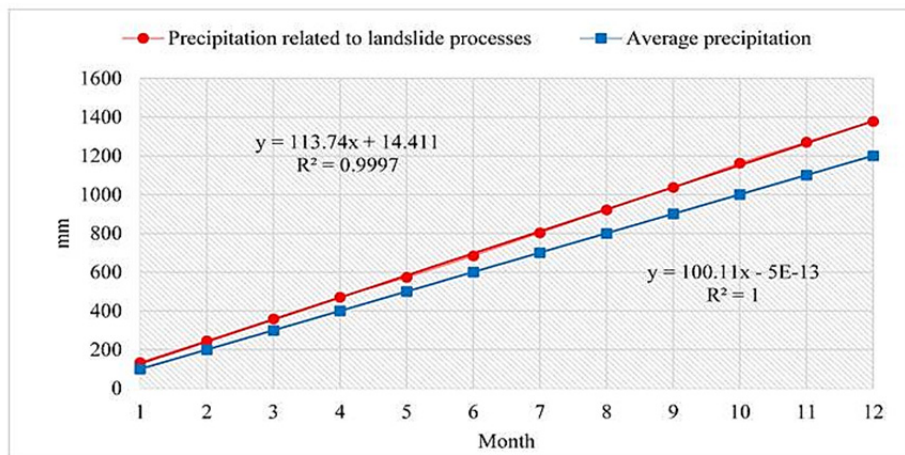


Fig. 8. Cumulative sum of landslide-related and average precipitation in Georgia.

Fig. 8 shows a graph of the relationship between average landslide-related precipitation amounts for Georgia and the P1...P12 values, as well as a graph of the relationship between average monthly precipitation amounts for Georgia (based on data from 1960-1989 for more than 80 meteorological stations). As can be seen from this Figure, landslide-related precipitation amounts are higher than the overall average precipitation amounts for individual months. On average, this difference is approximately 16%.

Finally, Fig. 9 and 10 present graphs of dependencies of the average landslide number from P1 and P12 values, respectively, for territory of Georgia. Averaging was performed over seven ranges of P1 and P12 values in ascending order.

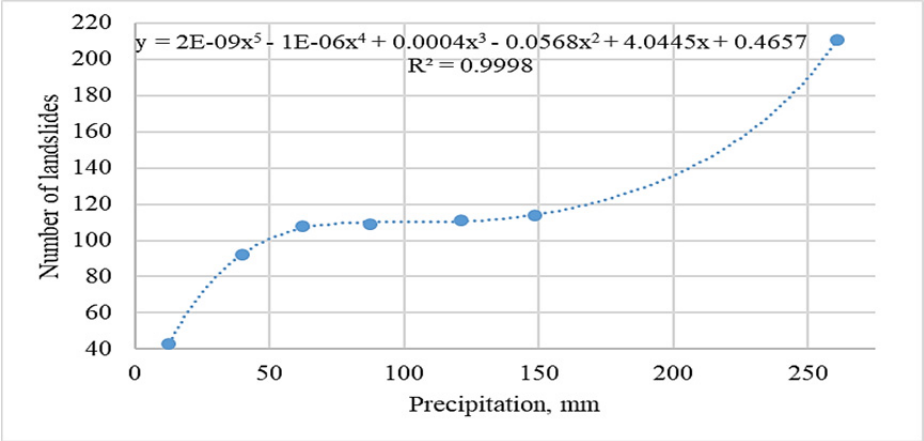


Fig. 9. Relationship between the number of landslides and the monthly sum of precipitation in Georgia.

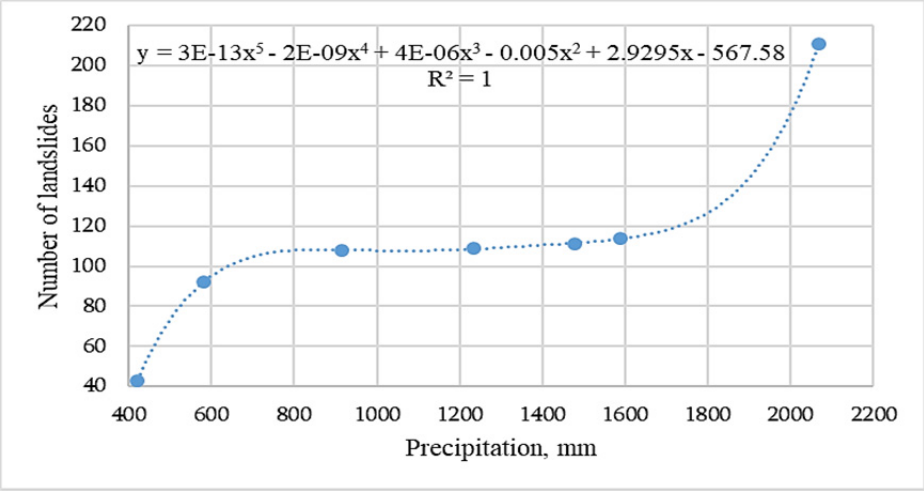


Fig. 10. Relationship between the number of landslides and the 12-month cumulative sum of precipitation on the territory of Georgia.

As can be seen from these figures, in both cases, the dependence of the landslide number on P1 and P12 values has the form of a fifth-order polynomial (sequentially: slight increase – plateau – strong increase). For P1 values, the precipitation plateau, after which a strong increase in landslides began, spans the range from 62 to 149 mm, while for P12, it spans from 914 to 1588 mm (LS number ≈ 108-114).

**Conclusion**

In the near future, it is planned to conduct research assessing the role of various factors in the activation of landslide processes (geological structure, terrain, distance from roads and rivers, precipitation amount, etc.) using artificial intelligence methods in both stationary and dynamic modes.

The results of these studies will also be useful for hybrid risk assessment and the application of an integrated hybrid approach to forecasting various events associated with natural disasters [30].

## Acknowledgments

This work was supported by Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG), Grant number FR-23-5466, “Machine Learning Approach to the Landslide Activation Prediction in Georgia”.

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Aleotti P., Chowdhury R. Landslide Hazard Assessment: Summary. Rev N Perspect. Bull Eng. Geol. Env. 58, 1999, pp. 21-44.
2. Li H., Samsudin N. A. A Systematic Review of Landslide Research in Urban Planning Worldwide. Nat Hazards, 121, 2025, pp. 6391-6411. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-07064-4>
3. Dağlıç S., Karimov E. Investigation of landslide mechanism in the Balaban landslide area using 3D numerical modelling. Int. Journal of Sustainability and Risk Control, Vol.1, No 2(2), Baku, Azerbaijan, September 2025, pp. 31-35.
4. Alcántara-Ayala I. Landslides in a Changing World. Landslides, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10346-024-02451-1>
5. 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>.
6. Gaprindashvili, M., Tsereteli, E., Gaprindashvili, G., Kurtsikidze, O. Landslide and mudflow hazard assessment in Georgia. In: Bonali, F.L., Pasquaré Mariotto, F., Tsereteli, N. (eds) Building Knowledge for Geohazard Assessment and Management in the Caucasus and other Orogenic Regions. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht, 2021. [https://doi.org/10.1007/978-94-024-2046-3\\_14](https://doi.org/10.1007/978-94-024-2046-3_14)
7. Fourth National Communication of Georgia Under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Chapter 4.9 Geological Hazards in Georgia, Tbilisi, 2021, pp. 278-286.
8. 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
9. Geological bulletins. 2016-2025, (in Georgian). <https://nea.gov.ge/c/Departments/Geology>
10. Amiranashvili A., Elizbarashvili E., Gaprindashvili G., Varazanashvili O., Fuchs S. Statistical analysis of parameterized landslide data in Georgia from 1900 to 2022. Reliability: Theory and Applications, ISSN 1932-2321, Special Issue № 6 (81), Part-2, Vol. 19, 2024, pp. 812 – 818. <https://doi.org/10.24412/1932-2321-2024-681-812-818>
11. Amiranashvili A., Brocca L., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Varamashvili N. Statistical analysis of the annual number of registered landslides and mudflows in Georgia in 1995-2024. 1st International Scientific Conference “Modern problems in Geophysics”. Proceedings, ISBN 978-9941-36-434-1, ISSN 3088-4349, Tbilisi, Georgia, November 6-8, 2025. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2025, pp. 35-38.
12. Froude M., Petley D. Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 18, 2018, pp. 2161-2181.
13. Segoni S., Piciullo L., Gariano S.L. A Review of the Recent Literature on Rainfall Thresholds for Landslide Occurrence. Landslides, 15, 2018, pp. 1483-1501, DOI: 10.1007/s10346-018-0966-4.
14. Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvaauri 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.

15. Amiranashvili A., Brocca L., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Varamashvili N. Analysis of the precipitation regime that triggered the landslide in Nergeeti (Imereti, Georgia) on February 7, 2024. *Int. Sc. Conf. "Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country"*, Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, Publish house of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, pp. 155 – 158.  
[http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/10619/1/39\\_MM-180.pdf](http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/10619/1/39_MM-180.pdf)
16. Beglarashvili N., Elizbarashvili I., Jamrishvili N., Janelidze I., Pipia M., Tavidashvili Kh. Analysis of heavy precipitation in the Adigeni and Chokhatauri municipalities on July 21, 2025 based on satellite measurements. 1st International Scientific Conference "Modern problems in Geophysics". Proceedings, ISBN 978-9941-36-434-1, ISSN 3088-4349, Tbilisi, Georgia, November 6-8, 2025. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2025, pp. 125-128.
17. Amiranashvili A., Chelidze T., Dalakishvili L., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Preliminary results of a study of the relationship between the monthly mean sum of atmospheric precipitation and landslide cases in Georgia. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 23(2), 2020, pp. 37 – 41.
18. 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>
19. Amiranashvili A., Chelidze T., Dalakishvili L., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Preliminary results of a study of the relationship between the variability of the mean annual sum of atmospheric precipitation and landslide processes in Georgia. *Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“*, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 202-206.
20. Chelidze, T., Tsamalashvili, T., Fandoeva, M. Mass-movement stationary hazard maps of Georgia including precipitation triggering effect: fuzzy logic approach. *Bull. Georg. Nat. Acad. Sci.*, vol. 16, no. 2, 56-63, 2022, [http://science.org.ge/bnas/t16-n2/07\\_Chelidze\\_Geophysics.pdf](http://science.org.ge/bnas/t16-n2/07_Chelidze_Geophysics.pdf)
21. Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Some results of a study of the relationship between the mean annual sum of atmospheric precipitation and re-activated and new landslide cases in Georgia taking into account of climate change. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 25(2), 2022, pp. 38-48.  
<https://openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/5959>, DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2520225959>
22. Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Study of the relationship between the mean annual sum of atmospheric precipitation and re-activated and new mudflow cases in Georgia. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 26(1), 2023, pp. 19-29.  
<https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/6958>; DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2620236958>
23. Amiranashvili A., Brocca L., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Varamashvili N. Statistical analysis of the number of damaging landslides in municipalities and regions of Georgia and their relationship with atmospheric precipitation in 2015-2024. *Reliability: Theory and Applications*, ISSN 1932-2321, Special Issue No. 9 (87), Volume 20, November 2025, pp. 255-264.
24. Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. On the representativeness of data from meteorological stations in Georgia for annual and semi-annual sum of atmospheric precipitation around of these stations. *Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“*. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish house of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 79 – 83.  
[http://openlibrary.ge/bitstream/123456789/9566/1/20\\_Conf\\_ND\\_2021.pdf](http://openlibrary.ge/bitstream/123456789/9566/1/20_Conf_ND_2021.pdf)
25. Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Varamashvili N. About the representativeness of data from meteorological stations in Georgia for monthly sum of atmospheric precipitation around of these stations. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 27(1), 2024, pp. 52-57.  
<https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/7983>
26. Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Comparison of data from ground-based and satellite measurements of the monthly sum of atmospheric precipitation on the example of Tbilisi



- city in 2001-2020. Int. conf. of young scientists “Modern Problems of Earth Sciences”. Proceedings, ISBN 978-9941-36-044-2, Publish House of Iv. Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, November 21-22, 2022, pp. 154-158. [http://openlibrary.ge/bitstream/123456789/10251/1/37\\_YSC\\_2022.pdf](http://openlibrary.ge/bitstream/123456789/10251/1/37_YSC_2022.pdf)
27. Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Varamashvili N. Comparison of satellite and ground-based data on semi-annual and annual sum of atmospheric precipitation for 26 points in Georgia in 2001-2020. Int. Sc. Conf. “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country”, Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, Publish House of Iv. Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, pp. 159 – 163. [http://www.openlibrary.ge/bitstream/123456789/10618/1/40\\_MM-180.pdf](http://www.openlibrary.ge/bitstream/123456789/10618/1/40_MM-180.pdf)
  28. Amiranashvili A.G., Brocca L., Chelidze T.L., Svanadze D.T., Tsamalashvili T.N., Varamashvili N.D. Statistical Analysis of Annual and Semi-Annual Sum of Atmospheric Precipitation Data for 59 Municipalities (11 Regions) of Georgia with Landslide Hazard Zones from 2015 to 2024. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127 Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 28(1), 2025, pp. 50 – 63. <https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/9249>
  29. 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.
  30. Aliyev V., Pkhovelishvili M., Archvadze N., Gasitashvili Z. Hybrid risk review. Int. Journal of Sustainability and Risk Control, Baku, Azerbaijan, Vol.1, No 1(1), June 2025, pp. 12-23.

## **STATISTICAL ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN MONTHLY AND CUMULATIVE MULTI-MONTH SUMS OF PRECIPITATION WITH THE NUMBER OF LANDSLIDES IN THE REGIONS OF GEORGIA**

**Amiranashvili A., Brocca L., Chelidze T., Kiria T., Svanadze D.,  
Tsamalashvili T., Varamashvili N.**

### **Abstract**

A detailed statistical analysis of the relationship between monthly and accumulated multi-month precipitation sums and the number of landslides in 12 regions of Georgia is presented. Landslide data with a known month and year of activation were used (a total of 788 landslide events from 1961 to 2022). For the analysis, the precipitation sum for the month of landslide activation (P1) was determined, as well as the accumulated precipitation sum for the month of activation and for 1 month (P2), 2 months (P3), ..., and 11 months (P12) prior to landslide occurrence.

Specifically, the following results were obtained. The relationship between average precipitation values (threshold values) and monthly precipitation duration during the month of landslide activation and before landslide activation in Georgia and its individual regions was determined. It was found that, overall, in eastern Georgia (including the Samtskhe-Javakheti region), landslide activation occurs with significantly lower precipitation sums than in western Georgia. The average P1 values are 76 and 156 mm, respectively, and the P12 values are 684 and 1588 mm. The linear correlation between the number of landslides and the P1...P12 values across the regions of Georgia is low for P1 and moderate for P2...P12. The sum of precipitation associated with landslides exceeds the general long-term average monthly precipitation by approximately 16%. For Georgia as a whole, the dependence of the number of landslides on the P1 and P12 values has the form of a fifth-order polynomial (sequentially: slight increase – plateau – strong increase). For P1 values, the precipitation sum plateau, after which a strong increase in the number of landslides begins, covers the range from 62 to 149 mm, and for P12 – from 914 to 1588 mm (the number of landslides is  $\approx$  108-114).

**Keywords:** landslides, natural disaster, atmospheric precipitations, statistical analysis.

**საქართველოს რეგიონებში ყოველთვიური და დაგროვილი მრავალთვიანი ნალექების ჯამსა და მეწყერების რაოდენობას შორის კავშირის სტატისტიკური ანალიზი**  
**ამირანაშვილი ა., ბროკა ლ., ჭელიძე თ., ქირია თ., სვანაძე დ., წამალაშვილი თ., ვარამაშვილი ნ.**

**რეზიუმე**

წარმოდგენილია საქართველოს 12 რეგიონში ყოველთვიური და დაგროვილი მრავალთვიანი ნალექების რაოდენობასა და მეწყერების რაოდენობას შორის ურთიერთკავშირის დეტალური სტატისტიკური ანალიზი. გამოყენებული იქნა მეწყერის მონაცემები გააქტიურების ცნობილი თვისა და წლის მიხედვით (სულ 788 მეწყერის მოვლენა 1961 წლიდან 2022 წლამდე). ანალიზისთვის განისაზღვრა მეწყერის გააქტიურების თვის ნალექების რაოდენობა (P1), ასევე, დაგროვილი ნალექების რაოდენობა გააქტიურების თვისთვის და მეწყერის წარმოქმნამდე 1 თვის (P2), 2 თვის (P3), ... და 11 თვის (P12) განმავლობაში.

კერძოდ, მიღებული იქნა შემდეგი შედეგები: განისაზღვრა ნალექების საშუალო მნიშვნელობებსა (ზღვრულ მნიშვნელობებსა) და ყოველთვიურ ნალექების ხანგრძლივობას შორის ურთიერთკავშირი მეწყერის გააქტიურების თვეში და მეწყერის გააქტიურებამდე საქართველოში და მის ცალკეულ რეგიონებში. დადგინდა, რომ, საერთო ჯამში, აღმოსავლეთ საქართველოში (მათ შორის სამცხე-ჯავახეთის რეგიონში), მეწყერის გააქტიურება ხდება ნალექების მნიშვნელოვნად დაბალი რაოდენობით, ვიდრე დასავლეთ საქართველოში. P1 საშუალო მნიშვნელობები შესაბამისად 76 და 156 მმ-ია, ხოლო P12 მნიშვნელობები 684 და 1588 მმ-ია. საქართველოს რეგიონებში მეწყერების რაოდენობასა და P1...P12 მნიშვნელობებს შორის წრფივი კორელაცია დაბალია P1-ისთვის და ზომიერი P2...P12-ისთვის. მეწყერებთან დაკავშირებული ნალექების რაოდენობა დაახლოებით 16%-ით აღემატება ზოგად გრძელვადიან საშუალო ყოველთვიურ ნალექებს. მთლიანად საქართველოსთვის, მეწყერების რაოდენობის დამოკიდებულებას P1 და P12 მნიშვნელობებზე აქვს მეხუთე რიგის პოლინომის ფორმა (თანმიმდევრობით: მცირე ზრდა – პლატო – ძლიერი ზრდა). P1 მნიშვნელობებისთვის, ნალექების პლატო, რომლის შემდეგაც იწყება მეწყერების რაოდენობის ძლიერი ზრდა, მოიცავს დიაპაზონს 62-დან 149 მმ-მდე, ხოლო P12-სთვის – 914-დან 1588 მმ-მდე (მეწყერების რაოდენობა  $\approx$  108-114-ია).

**საკვანძო სიტყვები:** ეწყერი, სტიქიური უბედურება, ატმოსფერული ნალექები, სტატისტიკური ანალიზი.

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СВЯЗИ МЕСЯЧНЫХ И НАКОПЛЕННЫХ МНОГОМЕСЯЧНЫХ СУММ ОСАДКОВ С КОЛИЧЕСТВОМ ОПОЛЗНЕЙ В РЕГИОНАХ ГРУЗИИ**

**Амиранашвили А., Брокка Л., Челидзе Т., Кириа Т.,  
Сванაძე Д., Цамალაშვილი Т., Варамашვილი Н.**

**Реферат**

Представлен подробный статистический анализ связи месячных и накопленных многомесячных сумм осадков с количеством оползней в 12 регионах Грузии. Использовались данные об оползнях с известным месяцем и годом их активизации (всего 788 случаев оползней в период с 1961 по 2022). Для анализа определялась сумма осадков в месяц с активизацией оползней (P1), а также накопленная сумма осадков в месяц с активизацией осадков и за 1 месяц (P2), 2 месяца (P3), ... , 11 месяцев (P12) до возникновения оползня.

В частности, получены следующие результаты. Определена зависимость средних значений осадков (пороговых значений) от продолжительности осадков по месяцам в течение месяца активизации оползня и перед активизацией оползней в Грузии и ее отдельных регионах. Выявлено, что в целом, в восточной Грузии (включая регион Самцхе-Джавахети) активизация оползней происходит при значительно меньшем количестве осадков, чем в западной. Средние значения P1 составляют 76 и 156 мм соответственно, а значения P12 – 684 и 1588 мм. Линейная корреляция между количеством оползней и значениями P1...P12 по регионам Грузии для P1 низкая, для P2...P12 – умеренная корреляция. Количество осадков, связанных с оползнями, превышает общее многолетнее среднемесячное количество осадков примерно на 16%. В целом по Грузии зависимость количества оползней от значений P1 и P12 имеет вид полинома пятого порядка (последовательно: небольшой рост – плато – сильный рост). Для значений P1 плато количества осадков, после которого начинается сильный рост числа оползней, охватывает диапазон от 62 до 149 мм, а для P12 – от 914 до 1588 мм (число оползней  $\approx$  108-114).

**Ключевые слова:** оползни, стихийное бедствие, атмосферные осадки, статистический анализ.

## VARIABILITY OF THE ANNUAL NUMBER OF REGISTERED LANDSLIDES AND MUDFLOWS IN GEORGIA IN 1995-2024 AND THEIR EXPECTED CHANGE UP TO 2030

<sup>1</sup>Amiranashvili A., <sup>2</sup>Brocca L., <sup>1</sup>Chelidze T., <sup>1</sup>Svanadze D.,  
<sup>3</sup>Tsamalashvili T., <sup>1</sup>Varamashvili N.

<sup>1</sup>*M. Nodia Institute of Geophysics of I. Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*

<sup>2</sup>*Research Institute for Geo-Hydrological Protection, Perugia, Italy*

<sup>3</sup>*A. Janelidze Geological Institute of I. Javakishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia*  
*avtandilamiranashvili@gmail.com*

### Introduction

Landslides and mudflows, as a type of natural disaster, occur almost everywhere [1-4], including in Georgia, which has a wide variety of terrain [5-8]. Landslides and mudflows damage and destroy houses, roads, bridges, pipelines, and power lines, destroy agricultural land, food supplies, and seeds, and also lead to human casualties, causing death and injury due to the displacement of soil, rocks, and trees. These natural disasters cause enormous damage to infrastructure, the economy, and the natural environment, disrupting people's livelihoods [9-11].

The activation of landslides and mudflows depends on a combination of natural and anthropogenic factors. The main ones are: heavy and prolonged rainfall, rapid melting of seasonal snow cover or glaciers, which lead to waterlogging of the soil, which significantly reduces its strength and stability; the presence of steep slopes, the composition of rocks, their inclined bedding, and the presence of cracks; changes in groundwater levels and surface water regimes; earthquakes and tectonic movements that can trigger the collapse of unstable slopes; improper construction and mining work, destruction of slopes by road cuttings, excessive soil removal, massive deforestation, which reduces the binding function of plant root systems; general climatic conditions of the region, which determine the likelihood and intensity of processes that contribute to landslides and mudflows (e.g., amount of precipitation, temperature regime) [2,12-16].

Considering the importance of the problem in Georgia, in recent years work has begun to systematize data on landslides and mudflows [10,11], which will improve the quality of scientific research. In particular, in the work [17] results of statistical analysis of data from the Geological Department of the Environment Agency of Georgia on the annual number of re-activated and newly formed landslides (LS) and mudflows (MF) in Georgia for the period from 1995 to 2024 are presented. In particular, the following results were obtained. The number of landslides varies in the range from 56 to 1360 with an average annual value of 581, and mudflows – from 23 to 355 with an average annual value of 141. There is a high linear correlation between the studied parameters (the correlation coefficient is 0.81). The trends of the LS and MF values have the form of a polynomial of the seventh degree.

This study is a continuation of the work [17]. The results of the statistical analysis of the variability of the annual number of registered landslides and mudflows in Georgia in 1995-2024 and an assessment of their expected change up to 2030 are presented below.

## Study area, material and methods

Study area – Georgia. The data of the Department of Geology at Georgian National Environmental Agency about registered re-activated and new landslides and mudflows number per year are used [10]. Period of observation: 1995-2024 (30 years).

In the proposed work the analysis of data is carried out with the use of the standard statistical analysis methods of random events and methods of mathematical statistics for the non-accidental time-series of observations [18-20].

Forecasting the landslides and mudflows number per year was performed using the AAA version of the exponential smoothing (ETS) algorithm taking into account the periodicity in the pre-forecast time series [20].

The following designations will be used below: Mean – average values; Min – minimal values; Max – maximal values; St Dev – standard deviation; St Err – standard error; R – coefficient of linear correlation;  $R_k$  – Kendall's rank correlation coefficient;  $R_s$  – Spearman's rank correlation coefficient;  $R_a$  – autocorrelation coefficient; Lag = 1, 2...30 years; LS – landslides number per year; MF – mudflows number per year; Forecast – forecast center point; 68%, 95%\_Upp and 68%, 95%\_Low – 68%, 95% of upper and lower levels of studied parameters mean values;  $\alpha$  – the level of significance; 1 period: 1995-2019, 2 period: 1995-2024.

The degree of correlation was determined in accordance with [19]: very high correlation ( $0.9 \leq R \leq 1.0$ ); high correlation ( $0.7 \leq R < 0.9$ ); moderate correlation ( $0.5 \leq R < 0.7$ ); low correlation ( $0.3 \leq R < 0.5$ ); negligible correlation ( $0 \leq R < 0.3$ ).

The statistical programs Mesosaur and Excel 19 were used for calculations.

## Results and discussion

Results in Table 1 and Fig. 1-12 are presented.

**Table 1. Values of the linear correlation coefficients and Spearman and Kendall rank correlation coefficients for time series of the number of landslides and mudflows per year in Georgia in 1995-2019 and 1995-2024.**

LS			MF		
1995-2019					
R	$R_k$	$R_s$	R	$R_k$	$R_s$
0.30	0.27	0.34	0.04	0.09	0.04
$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$
0.15	0.06	0.09	No sign	No sign	No sign
1995-2024					
0.61	0.50	0.62	0.20	0.28	0.27
$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$
<0.005	<0.005	<0.005	0.25	0.03	0.14

In Table 1 data about correlation levels of the LS and MF values in Georgia in 1995-2019 and 1995-2024 are presented. As follows from Table 1, in general, the correlation of LS and MF values with years in both periods of time are positive. However, the level of all types of LS values correlations with years is higher than MF values correlations with years in both period of time (“Low correlation” and “Negligible correlation” for LS values and “Negligible correlation” for MF values in 1 period of time; “Moderate correlation” for LS values and “Negligible correlation” for MF values in 2 period of time). In general, the correlation level for the studied parameters for the second period is higher than for the first.

The level of autocorrelation in the LS time series is also higher than in MF time series (Fig. 1,2,5,6) in both periods of time.

The LS and MF time series shows two periodicity peaks – the main one  $\approx 6$  years and the auxiliary one  $\approx 3.5-4$  years in both periods of time (Fig. 3,4,7,8).

Data on the main peak periodicity values in the LS and MF time series are taken into account when conducting interval forecasting of these parameters (Fig. 9-12).

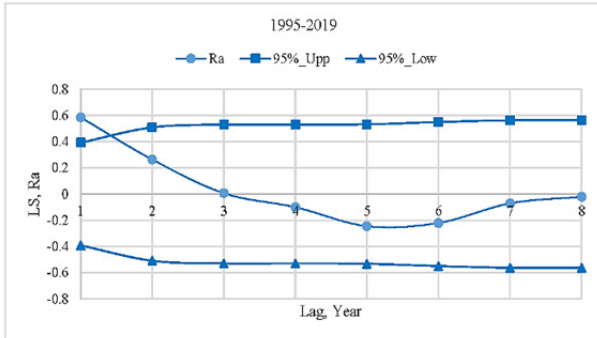


Fig. 1. Autocorrelation in the time series of observation of LS value in 1995-2019.

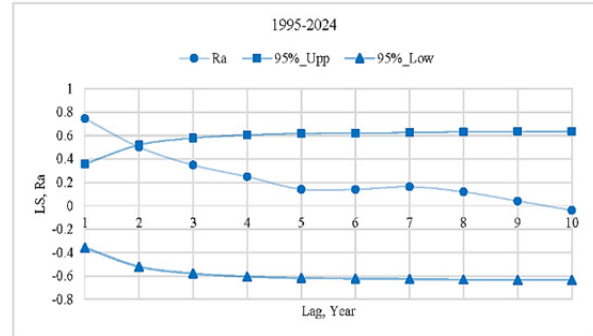


Fig. 2. Autocorrelation in the time series of observation of LS value in 1995-2024.

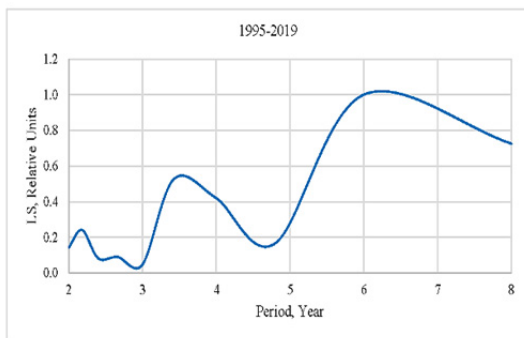


Fig. 3. Periodicity in the time series of observation of LS value in 1995-2019.

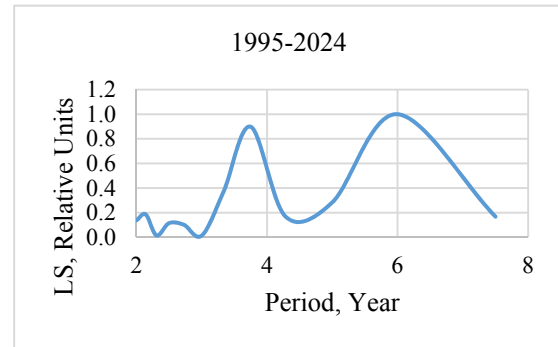


Fig. 4. Periodicity in the time series of observation of LS value in 1995-2024.

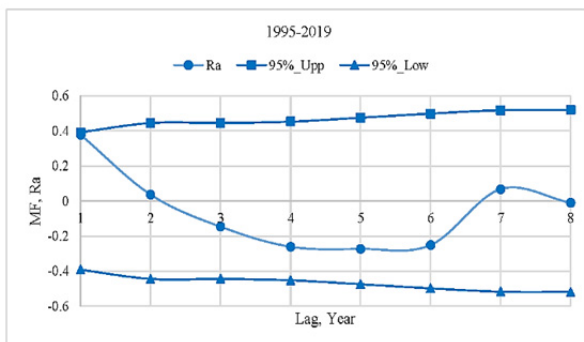


Fig. 5. Autocorrelation in the time series of observation of MF value in 1995-2019.

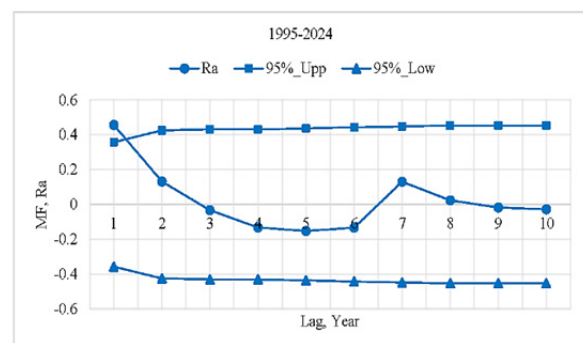


Fig. 6. Autocorrelation in the time series of observation of MF value in 1995-2024.

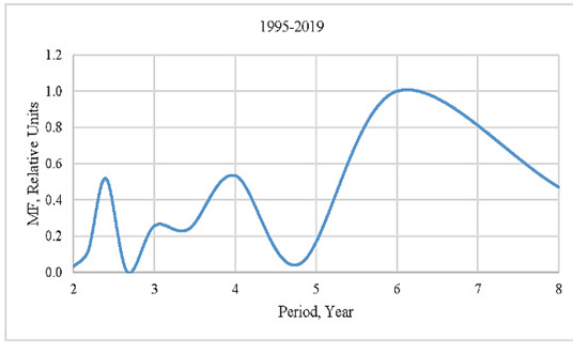


Fig. 7. Periodicity in the time series of observation of MF value in 1995-2019.

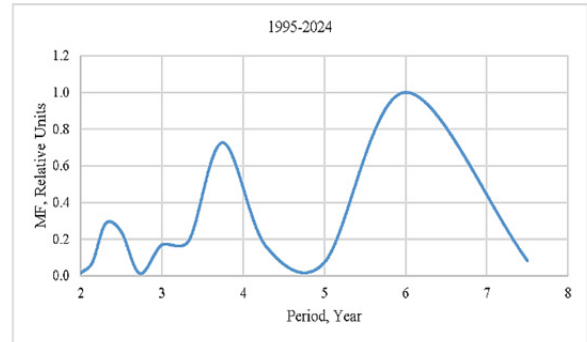


Fig. 8. Periodicity in the time series of observation of MF value in 1995-2024.

Fig. 9 and 10 present the results of test forecasting of LS and MF values for 2020-2024 using data for 1995-2019. Fig. 11 and 12 present the results of forecasting LS and MF values for 2025-2030 using data for 1995-2024.

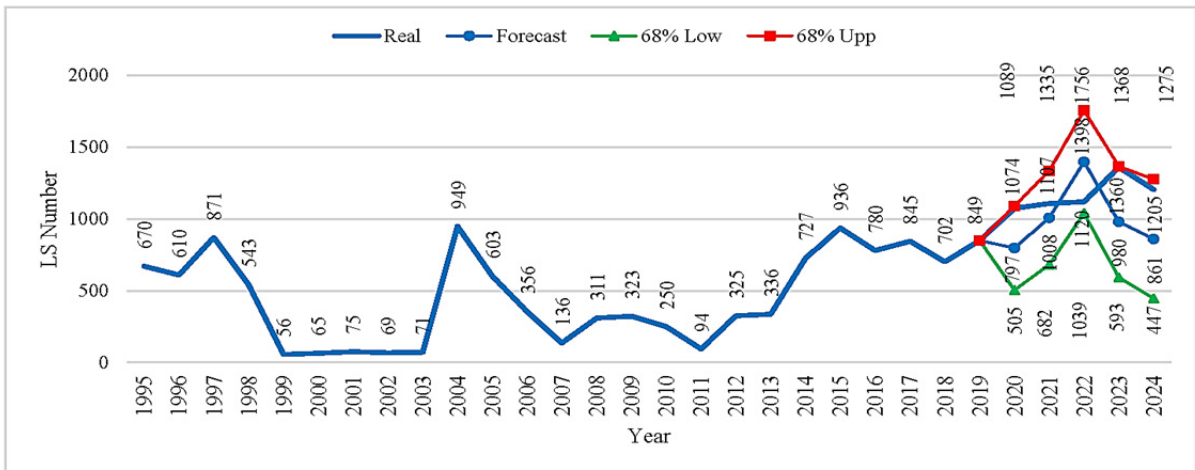


Fig. 9. Comparison of real and predicted data on LS value in 2020-2024 in Georgia.

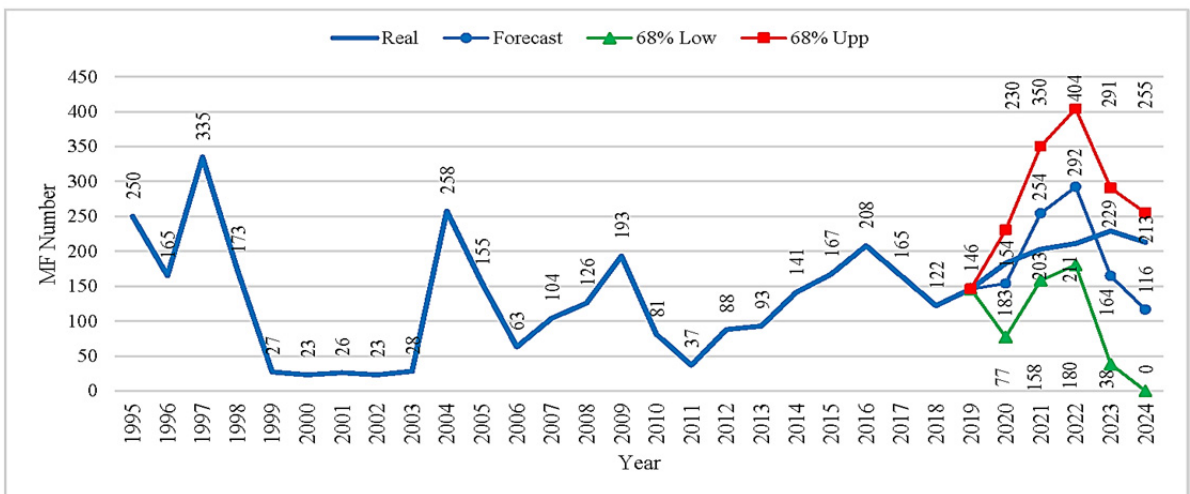


Fig. 10. Comparison of real and predicted data on MF value in 2020-2024 in Georgia.

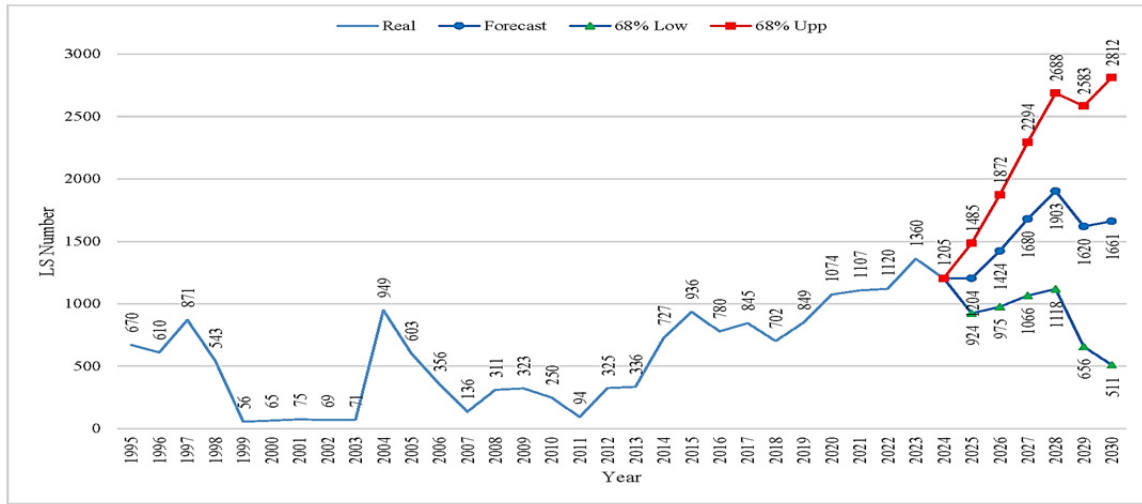


Fig. 11. Projected LS value in 2025-2030 in Georgia.

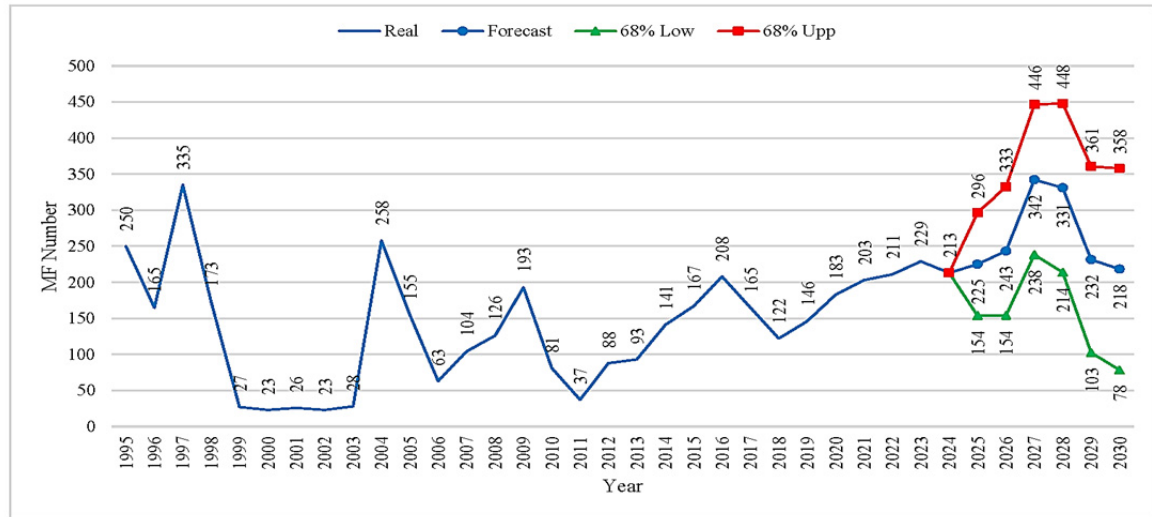


Fig. 12. Projected MF value in 2025-2030 in Georgia.

**Table 2. Statistical characteristics of real and projected LS and MF values in 2020-2024 and projected LS and MF values in 2025-2030.**

Parameter	Real	Forecast	68%	68%	Real	Forecast	68%	68%
Variable	LS, 2020-2024				MF, 2020-2024			
Min	1074	797	447	1089	183	116	0	230
Max	1360	1398	1039	1756	229	292	180	404
Mean	1173	1009	653	1365	208	196	91	306
St Dev	115	234	234	244	17	74	77	71
St Err	58	117	117	122	8	37	39	35
Variable	LS, 2025-2030				MF, 2025-2030			
Min		1204	511	1485		218	78	296
Max		1903	1118	2812		342	238	448
Mean		1582	875	2289		265	157	374
St Dev		240	240	518		56	62	62
St Err		107	107	232		25	28	28



A comparison of real and predicted data for both parameters revealed a satisfactory level of forecasting. For both parameters, their predicted and real values fall within a 68% prediction interval. The average real LS value is  $1173 \pm 58$ , while the predicted value is  $1009 \pm 117$ ; the average real MF value is  $208 \pm 8$ , while the predicted value is  $196 \pm 37$  (Table 2).

The average predicted LS value in 2025-2030 is  $1582 \pm 107$ , the average predicted MF value is  $265 \pm 25$ . Moreover, the average values of the confidence interval of the LS values vary from  $875 \pm 107$  to  $2289 \pm 232$ , and the MF values - from  $157 \pm 28$  to  $374 \pm 28$  (Table 2).

It should be noted that as new data becomes available in the coming years, it will be possible to test the representativeness of this model for predicting LS and MF values.

## Conclusion

In the near future, we plan to compare different methods for long-term and short-term landslide and mudflow forecasting, including machine learning methods.

## Acknowledgments

This work was supported by Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG), Grant number FR-23-5466, “Machine Learning Approach to the Landslide Activation Prediction in Georgia”.

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Aleotti P., Chowdhury R. Landslide Hazard Assessment: Summary. Rev N Perspect. Bull Eng. Geol. Env. 58, 1999, pp. 21-44.
2. Dalğıç S., Karimov E. Investigation of Landslide Mechanism in the Balaban Landslide Area using 3D Numerical Modelling. Int. Journal of Sustainability and Risk Control, Vol.1, No 2(2), Baku, Azerbaijan, September 2025, pp. 31-35.
3. Alcántara-Ayala I. Landslides in a Changing World. Landslides, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10346-024-02451-1>
4. Li H., Samsudin N. A. A Systematic Review of Landslide Research in Urban Planning Worldwide. Nat Hazards, 121, 2025, pp. 6391-6411. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-07064-4>
5. 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>.
6. Fourth National Communication of Georgia Under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Chapter 4.9 Geological Hazards in Georgia, Tbilisi, 2021, pp. 278-286.
7. Gaprindashvili M., Tsereteli E., Gaprindashvili G., Kurtsikidze O. Landslide and Mudflow Hazard Assessment in Georgia. In: Bonali F.L., Pasquaré Mariotto F., Tsereteli N. (eds) Building Knowledge for Geohazard Assessment and Management in the Caucasus and other Orogenic Regions. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht, 2021. [https://doi.org/10.1007/978-94-024-2046-3\\_14](https://doi.org/10.1007/978-94-024-2046-3_14)
8. Amiranashvili A., Elizbarashvili E., Gaprindashvili G., Varazanashvili O., Fuchs S. Statistical Analysis of Parameterized Landslide Data in Georgia from 1900 to 2022. Reliability: Theory and Applications, ISSN 1932-2321, Special Issue № 6 (81), Part-2, Vol. 19, 2024, pp. 812 – 818. <https://doi.org/10.24412/1932-2321-2024-681-812-818>
9. Froude M., Petley D. Global Fatal Landslide Occurrence from 2004 to 2016. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 18, 2018, pp. 2161-2181.
10. Geological Bulletins. 2016-2025, (in Georgian). <https://nea.gov.ge/c/Departments/Geology>

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>; DOI: 10.13140/RG.2.2.12474.57286
12. Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Study of the Relationship Between the Mean Annual Sum of Atmospheric Precipitation and Re-Activated and New Mudflow Cases in Georgia. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 26(1), 2023, pp. 19-29. <https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/6958>; DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2620236958>
13. 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.
14. Amiranashvili A., Brocca L., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Varamashvili N. Analysis of the precipitation regime that triggered the landslide in Nergeti (Imereti, Georgia) on February 7, 2024. Int. Sc. Conf. “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country”, Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, Publish house of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, pp. 155 – 158. [http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/10619/1/39\\_MM-180.pdf](http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/10619/1/39_MM-180.pdf)
15. 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>
16. Amiranashvili A., Brocca L., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Varamashvili N. Statistical analysis of the number of damaging landslides in municipalities and regions of Georgia and their relationship with atmospheric precipitation in 2015-2024. Reliability: Theory and Applications, ISSN 1932-2321, Special Issue No. 9 (87), Volume 20, November 2025, pp. 255-264.
17. Amiranashvili A., Brocca L., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Varamashvili N. Statistical Analysis of the Annual Number of Registered Landslides and Mudflows in Georgia in 1995-2024. 1st International Scientific Conference “Modern problems in Geophysics”. Proceedings, ISBN 978-9941-36-434-1, ISSN 3088-4349, Tbilisi, Georgia, November 6-8, 2025. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2025, pp. 35-38.
18. Kendall M.G. Time-series. Moscow, 1981, 200 p., (in Russian).
19. 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.
20. 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.

**VARIABILITY OF THE ANNUAL NUMBER OF REGISTERED  
LANDSLIDES AND MUDFLOWS IN GEORGIA IN 1995-2024 AND  
THEIR EXPECTED CHANGE UP TO 2030**

**Amiranashvili A., Brocca L., Chelidze T., Svanadze D.,  
Tsamalashvili T., Varamashvili N.**

**Abstract**

The paper presents the results of a study of the variability features of the annual number of registered landslides (LS) and mudflows (MF) in Georgia in 1995-2024 and their expected change up to 2030. The stability of the time series of LS and MF values was studied by determining their correlation links over time (linear correlation, Kendall and Spearman rank correlation). The level of autocorrelation in the time series of LS and MF values was determined. The periodicity of these time series was studied. Interval forecasting of LS and MF values up to 2030 was carried out, taking into account the periodicity in the observation series.

**Keywords:** landslides, mudflows, natural disaster, interval forecasting.

**საქართველოში რეგისტრირებული მეწყერებისა და ღვარცოფების  
წლიური რაოდენობის ცვალებადობა 1995-2024 წლებში და  
მათი მოსალოდნელი ცვლილება 2030 წლამდე**

**ამირანაშვილი ა., ბროკა ლ., ჭელიძე თ., სვანაძე დ.,  
წამალაშვილი თ., ვარამაშვილი ნ.**

**რეზიუმე**

ნაშრომში წარმოდგენილია კვლევის შედეგები, რომელიც შეისწავლის საქართველოში რეგისტრირებული მეწყერების (LS) და ღვარცოფების (MF) წლიური რაოდენობის ცვალებადობას 1995 წლიდან 2024 წლამდე და მათ მოსალოდნელ ცვლილებებს 2030 წლამდე. შესწავლილი იქნა LS და MF მნიშვნელობების დროითი სერიების სტაბილურობა მათი დროთა განმავლობაში კორელაციის განსაზღვრით (წრფივი კორელაცია, კენდალისა და სპირმანის რანგული კორელაცია). განისაზღვრა LS და MF მნიშვნელობების დროითი სერიების ავტოკორელაციის დონე. შესწავლილი იქნა ამ დროითი სერიების პერიოდულობა. ჩატარდა LS და MF მნიშვნელობების ინტერვალური პროგნოზირება 2030 წლამდე, დაკვირვების სერიების პერიოდულობის გათვალისწინებით.

**საკვანძო სიტყვები:** მეწყერი, ღვარცოფები, სტიქიური უბედურებები, ინტერვალური პროგნოზირება.

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЕЖЕГОДНОГО ЧИСЛА РЕГИСТРИРОВАННЫХ  
ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ В ГРУЗИИ В 1995-2024 ГОДАХ И  
ИХ ОЖИДАЕМОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ДО 2030 ГОДА**

**Амиранашвили А., Брокка Л., Челидзе Т., Сванадзе Д.,  
Цамалашвили Т., Варамашвили Н.**

**Реферат**

В работе представлены результаты исследования особенностей изменчивости ежегодного числа зарегистрированных оползней (LS) и селей (MF) в Грузии в 1995-2024 годах и их ожидаемое изменение до 2030 года. Изучена устойчивость временных рядов значений LS и MF путем определения их корреляционных связей со временем (линейная корреляция, ранговая корреляция Кендалла и Спирмена). Определен уровень автокорреляции во временных рядах значений LS и MF. Изучена периодичность указанных временных рядов. Проведено интервальное прогнозирование значений LS и MF до 2030 г. с учетом периодичности в рядах наблюдений.

**Ключевые слова:** оползни, сели, стихийные бедствия, интервальное прогнозирование.

## მსხვილმასშტაბოვანი ატმოსფერული გრიგალების ფაზურ პორტრეტებთან დაკავშირებით

კერესელიძე ზ.

*ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის  
მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი*

### შესავალი

არსებობს მოწესრიგებული მოძრაობის ქაოტურში გადასვლის სხვადასხვა სცენარები, რომელთა სათავეა ლანდაუს მოდელი და მისი განვითარება – რუელტაკენის მოდელი. ამ სცენარების მიხედვით ლამინარული ჰიდროდინამიკური მოძრაობის ფაზიდან ტურბულენტურ (ქაოტურ) ფაზაში გადასვლა ხდება ე.წ. ხოფის ბიფურკაციების უსასრულო კასკადის საშუალებით. მაგალითად, გიგანტური ატმოსფერული გრიგალის (ქარბორბალა, ტორნადო) შემთხვევაში ეს პროცესი ნიშნავს, რომ გრიგალის არეში გენერირებული ტურბულენტური პულსაციების ინტენსივობა, ანუ ხოფის ბიფურკაციების უსასრულო მიმდევრობით გამოწვეული დისკრეტული სიხშირული სპექტრის სიმძლავრე, კასკადური გაორმაგებების გამო, ფართოვდება, თანდათან უწყვეტი ხდება და მისიწრაფის გარკვეული ზღვარისაკენ. ამ პროცესის საწყის ეტაპზე ზვავისებურად ზრდადი სიხშირეების სპექტრის სიმძლავრე თანდათან მიიღევა, რაც, ატმოსფერული გრიგალის კონკრეტულ შემთხვევაში, მის დისიპაციას ნიშნავს. ლანდაუს მოდელისაგან განსხვავებით, რუელ-ტაკენის მოდელში ქაოსში გადასვლა საწყისი რეგულარული (ლამინარული) მოძრაობიდან გაცილებით სწრაფად ხდება ე.წ. „უცნაური ატრაქტორის“ ფაქტორის მოქმედების გამო. ამ ფაქტორის არსებობა ლამინარულად მოძრავი სითხით გლუვი ზედაპირების გარსდენის ამოცანაში დაკავშირებულია კრიტიკული წერტილის არეში ნავიე -სტოქსის განტოლების ანალიზური ამონახსნების სინგულარობასთან.

უწყვეტი გარემოს დინების სპეციფიკაზე და მისგან გამომდინარე მათემატიკურ გართულებებზე ადექვატურ წარმოდგენას იძლევა ფაზური სივრცე, რადგანაც მისი საშუალებით ხდება დინების წირების ყოფაქცევის ვიზუალიზაცია გარსდენადი ზედაპირის კრიტიკული წერტილის არეში. ქარბორბალასა და ტორნადოს თეორიული მოდელირების პრობლემა აბსტრაქტულია. ეს დასკვნა ზოგადია და შეეხება როგორც ამოცანის დასმას, ასევე მისი გადაწყვეტისათვის გამოყენებულ მეთოდიკებს. ეს შენიშვნა სამართლიანია აგრეთვე მოცემულ ნაშრომთან მიმართებაშიც, რომელიც წარმოადგენს ქარბორბალასა და ტორნადოს შორის ტოპოლოგიური მსგავსების წარმოჩინების ცდას ფაზურ სივრცეში მარტივი წრფივი სისტემების განსაკუთრებული წერტილების მეთოდის გამოყენებით. ქარბორბალა და ტორნადო ისეთი სტოქასტური ატმოსფერული მოვლენებია, რომელთათვისაც სტაბილური მახასიათებელი ელემენტების არსებობა და მათი სრულფასოვანი მოდელირება პრაქტიკულად შეუძლებელია. ამიტომ, აბსოლუტურად ქაოტური მოვლე-

ნის ფონზე, ლამინარულად მოძრავი გარემოსათვის მახასიათებელი დინების წირების მიახლოების გამოყენება არც თუ კორექტულია. თუმცა, გამამარტივებელი დაშვებების პირობებში, განსაკუთრებული სტრუქტურული ელემენტების (კრიტიკული წერტილი) არეში ქარბორბალისა და ტორნადოს ტოპოლოგიის მოდელირებისათვის, შესაძლებელია ინტერესს წარმოადგენდეს ფაზური პორტრეტების მეთოდი. ასეთი დაშვებადობის სამართლიანობის სასარგებლოდ შეიძლება ჩაითვალოს ის ფაქტი, რომ ეს არის საკმაოდ ცნობილი მათემატიკური მეთოდი, რომელიც გამოიყენება როგორც გადაუგვარებელი, ასევე გადაგვარებული მახასიათებელი დეტერმინანტის მქონე დიფერენციალური განტოლებების ანალიზისათვის. ასეთია, მაგალითად, ნავიე-სტოქსის განტოლება, უფრო ზუსტად, ამ განტოლების კომპონენტების (გეგმილების) სრული სისტემა, რომლის მახასიათებელი დეტერმინანტის გადაგვარება შესაძლებელია მხოლოდ გარსდენადი ზედაპირის კრიტიკული წერტილის მახლობლობაში, სასაზღვრო დენის წირებით შემოსაზღვრული „მოწყვეტის“ ზედაპირის არეში. ცნობილია, რომ აქ შეიძლება ჩამოყალიბდეს ისეთი ტოპოლოგიური სტრუქტურები, რომლებიც იძლევიან დენის წირების ასიმპტოტიკური მისწრაფებების მრავალფეროვან სურათებს. მათი სიმრავლე დამოკიდებულია ნავიე-სტოქსის განტოლების მახასიათებელი დეტერმინანტის საკუთარ რიცხვებზე.

**ქარბორბალა, ტორნადო და ქაოსი.** დინამიური სისტემა წარმოადგენს ისეთ ობიექტს ან პროცესს, რომლისთვისაც ცალსახად განისაზღვრება მდგომარეობის მცნება, როგორც გარკვეული რაოდენობრივი მახასიათებლების ერთობლიობა დროის რომელიღაც მომენტში. ამასთან, მოცემული უნდა იყოს საწყისი მდგომარეობის დროში ევოლუციის განმსაზღვრელი კანონი ან მასთან მიახლოებული სქემა. მხოლოდ ასეთი პირობის დაცვის შემთხვევაში იქნება მათემატიკური თვალსაზრისით კორექტული ნებისმიერი ფიზიკური პროცესის მოდელირება. მაგალითად, მსხვილმასშტაბოვანი ატმოსფერული გრიგალების აქამდე ცნობილი თვისობრივ-რაოდენობრივი მოდელები, როგორც წესი, წარმოადგენენ მრავალრიცხოვანი მეტეოროლოგიური მონაცემების ინტერპრეტაციის შედეგს. მიუხედავად ამისა, მორფოლოგიური ანალიზის შედეგებისა და თეორიული წარმოდგენების სრულფასოვანი გაერთიანება ერთიანი თეორიის ფარგლებში მაინც ვერ ხერხდება. ამის მთავარი მიზეზია გიგანტური ატმოსფერული გრიგალების დროში და სივრცეში ევოლუციის პროცესის არაცალსახობა. თუმცა, ფიზიკური პროცესის ხასიათის თვალსაზრისით, არსებობს გარკვეული მსგავსება ერთნაირი თერმოდინამიკური ბუნების მქონე ორ მოვლენას, ქარბორბალასა და ტორნადოს, შორის. მაგალითად, ქარბორბალას იწვევენ დედამიწის არაერთგვაროვნად ცხელი ზედაპირიდან აღმავალი ჰაერის ნაკადები. ამ ლოკალური ატმოსფერული პროცესის განვითარების დროს ჰაერის ცირკულაციის ინტენსივობა მკვეთრად იზრდება ქარბორბალას პერიფერიიდან მისი ცენტრისაკენ, რომელშიც ბრუნვითი მოძრაობის სიჩქარე მნიშვნელოვნად იზრდება. მისი მახასიათებელი სიდიდე ჩვეულებრივ აღწევს რამდენიმე ათეულ მეტრს წამში. დედამიწის ზედაპირიდან წარტაცებული მტვრის ნაწილაკების კვალი აჩვენებს, რომ ქარბორბალას შიგნით ჰაერის მასის მოძრაობა აღმავალია და ხრახნისებური ბრუნვის ხასიათს ატარებს. გარკვეული დროის განმავლობაში ქარბორბალა რეგულარულ ფორმას ინარჩუნებს, რის გამო მისი სივრცეში გადაადგილების სურათი საკმაოდ ექვემდებარება მექანიკური მოძრაობის კანონებს. მსგავსი რამ არ ახასიათებს ტორნადოს, რომელიც წარმოადგენს გიგანტური სივრცული მასშტაბების მქონე განსაკუთრებულ ბუნებრივ ფენომენს. მისი ჩასახვა, ქარბორბალასაგან

განსხვავებით, ხდება ე.წ. „დედა“ ღრუბელში, საიდანაც ტორნადოს სხეული დედამიწისაკენ ეშვება გრძელი „ხორთუმის“ სახით. ტორნადოს შიგნით ჰაერი ბრუნავს განსაკუთრებით დიდი ხაზოვანი სიჩქარით, რომელიც შეიძლება ერთი რიგითაც კი აღემატებოდეს ჩვეულებრივი ქარბორბალასთვის დამახასიათებელ სიჩქარეს. ტორნადოს გააჩნია ე.წ. „თვალი“, ატმოსფერული მასის სტაგნაციის არე, ანუ უძრაობის (შტილის) ზონა. ქარბორბალასაგან განსხვავებით, მისი პირველწყარო, „დედა“ ღრუბელი, წარმოადგენს მცირე ზომის ქარიშხლის არეს, რომელსაც სივრცეში აქვს სპირალური სტრუქტურა, მიმართული ღრუბლიდან დედამიწისაკენ. მახასიათებელი სივრცული მასშტაბებიდან გამომდინარე, ქარბორბალა, ენერგეტიკული თვალსაზრისით, შეიძლება მივაკუთვნოთ ატმოსფერული თერმოდინამიკური სისტემის ლოკალური შემფოთების შედეგს. ამ დროს გიგანტური ზომის მქონე ტორნადო ქარბორბალაზე შეუდარებლად მძლავრია და მისი დამანგრეველი მოქმედება გაცილებით უფრო მასშტაბურია. ამიტომ, ფიზიკური თვალსაზრისით, ტორნადოს შემთხვევაში საქმე გვაქვს არა ატმოსფეროს ლოკალურ შემფოთებასთან, არამედ ექსტრემალური მახასიათებლების მქონე ღია თერმოდინამიკური სისტემის წარმოქმნასთან დიდი ხაზოვანი მასშტაბების მქონე სივრცეში. სავარაუდოდ, შესაძლებელია, რომ სწორედ ამიტომ არ არსებობს ტორნადოს, როგორც განსაკუთრებით კატასტროფული ბუნებრივი მოვლენის, ადექვატური თეორია. მაგალითად, ასახსნელია, თუ რატომ დაიკვირვება ტორნადოს „თვალის“ მახლობლობაში მასთან შედარებით გაცილებით უფრო მცირე სივრცული მასშტაბების მქონე გრიგალების ერთობლიობა [1-5].

განსხვავებული გენერაციის მექანიზმებისა და სივრცული მასშტაბებისა მიუხედავად, თუ გლუვი ზედაპირების ჰიდროდინამიკური გარსდენის თეორიას მოვიშველიებთ, აშკარაა, რომ ტოპოლოგიური თვალსაზრისით ფაზურ სივრცეში არსებობს გარკვეული მსგავსება ქარბორბალასა და ტორნადოს მახასიათებლებს შორის. ქვემოთ ნაჩვენები იქნება, რომ ასეთი მსგავსება შესაძლებელია თვისობრივად ახსნილი იყოს ლამინარული უკუმშვადი გარემოს მიახლოებაში, რომელთანაც გაიგივებულია მოძრავი ატმოსფერული მასა. კერძოდ, საკითხი ეხება დინების წირების მიახლოებაში ქარბორბალასა და ტორნადოს ვირტუალური ტოპოლოგიური სურათების მსგავსებას მათი კრიტიკული წერტილების არეში.



ნახ.1. ქარბორბალა.

**ტოპოლოგიური მსგავსება ქარბორბალასა და ტორნადოს შორის.** ქარბორბალას ენერჯის წყარო არის თბილი ჰაერის არაერთგვაროვნად მბრუნავი აღმავალი ნაკადი. ქარბორბალას ცენტრალური, სტრუქტურულად ტოროიდალური სხეულის მსგავსი, ნაწილი, ე.წ. „ხორთუმი“, დედამიწის ზედაპირიდან მკვეთრად მიისწრაფის ზევით და საკმაოდ მაღლა ჰორიზონტალურად იშლება. ამასთან, მხედველობაში მისაღებია, რომ ქარბორბალა რეალურად ატმოსფეროში ისახება, და არა დედამიწის ზედაპირზე. მისი განვითარების საწყისი მიზეზი ღრუბელში მიმდინარე თერმოდინამიკური პროცესია. დროთა განმავლობაში ქარბორბალაში შექოვილი ჰაერი, მასში შერეული ორთქლის კონდენსაციის შედეგად, ცივდება და დაბლა ეშვება, თუმცა, ჰაერის მასა, მისი სიმკვრივის ზრდის მიუხედავად, განაგრძობს ბრუნვას წარმოსახვითი ვერტიკალური ღერძის ირგვლივ. ქარბორბალა, ისევე, როგორც ტორნადო, საკმარისი მდგრადობით ხასიათდება და დედამიწის ზედაპირზე საკმაოდ დიდ მანძილებზე გადაადგილებისას გარკვეული ხნის განმავლობაში ინარჩუნებს ძაბრისებურ სტრუქტურას. ამ დროს შექოვილი მასის ბრუნვის ხაზოვანი სიჩქარე ქარბორბალას პერიფერიიდან მისი „ხორთუმის“ (ძაბრის ყელი) მიმართულებით 10მ/წმ მახასიათებელი სიდიდიდან ნახევარი რიგით და უფრო მეტადაც შეიძლება გაიზარდოს. ენერგეტიკული თვალსაზრისით ქარბორბალასთან შედარებით არათანაზომიად ძლიერი, გიგანტური ზომების მქონე სტოქასტიკური ბუნების ქარიშხლის, ტორნადოს, გენერაცია ჩვეულებრივ მსოფლიო ოკეანეში (იშვიათად, დიდი წყალსაცავების არეში) ხდება. ტორნადო, ქარბორბალას მსგავსად, როგორც კატასტროფული ბუნებრივი მოვლენა, მორფოლოგიური თვალსაზრისით საკმაოდ კარგად არის შესწავლილი, ხოლო მისი დამანგრეველი ქმედებების შედეგები მრავალგზის დეტალურად არის გაანალიზებული. მიუხედავად ამისა, ამ ატმოსფერული მოვლენის სრულფასოვანი თეორიული მოდელირება დაკავშირებულია გადაულახავ მათემატიკური ხასიათის პრობლემებთან [4,5]. ასეთი ვითარება იმ თერმოდინამიკური ფაქტორების ვარიანტულობის შედეგია, რომელთა ერთობლივი მოქმედება აყალიბებს ტორნადოს გენერაციის ხელშემწყობ ფიზიკურ პირობებს. ზოგადად, ტორნადოს თეორიული მოდელირების ამოცანა დაკავშირებულია სამგანზომილებიანი თერმო-გაზოდინამიკური მოძრაობის განტოლებათა სისტემის ქვაკუთხედური ამოცანის ამოხსნასთან რეალური გარემოს დინამიკისათვის დამახასიათებელ საწყის და სასაზღვრო პირობებში. ჯერჯერობით, ასეთი ამოცანის ცალსახად გადაწყვეტა აღემატება თანამედროვე ანალიტიკური მეთოდებისა და კომპიუტერული ტექნიკის შესაძლებლობებს [5]. თუმცა, გარკვეული დაშვებების პირობებში, შესაძლებელია მსგავსი განსაკუთრებით პრობლემური ამოცანის გამარტივებული ვარიანტების გამოკვლევა. ასეთ შემთხვევათა შორის, თვისობრივი დასკვნების თვალაჩინოების თვალსაზრისით, საკმაოდ სასარგებლოდ წარმოგვიდგება ფაზური სივრცის მეთოდი. ცნობილია, რომ ის იძლევა მეორე რიგის დიფერენციალური განტოლებების გაწრფივებული სისტემების ანალიზური ამონახსნების ასიმპტოტიკური ყოფაქცევის საკმაოდ თვალსაჩინო წარმოდგენებს უწყვეტი ტანის დინების წირების ყოფაქცევის ტოპოლოგიური სურათების საშუალებით [6,7].

გაწრფივების ოპერაცია ეყრდნობა დაშვებას, რომ მოძრაობის პროცესის აღმწერ არაწრფივ დიფერენციალურ განტოლებებში შეიძლება დავტოვოთ მხოლოდ პირველი რიგის სიმცირის წევრები კოორდინატებისა და სიჩქარის მცირე შეშფოთებების მიმართ. მაგალითად, გლუვი ზედაპირების კრიტიკული წერტილის მახლობლობაში ჰიდროდინამიკური

გარსდენის პრობლემა ჩვეულებრივ დაკავშირებულია ნავიე-სტოქსის განტოლების ამოხსნასთან. მიუხედავად იმისა, რომ ამ განტოლების სრულფასოვანი ანალიზური ამოხსნა, მარტივი შემთხვევების გარდა, შეუძლებელია, მისი ზოგიერთი კერძო ამონახსნის მიღება შესაძლებელია საწყისი განტოლების გაწვრივების შედეგად. ასეთი ამონახსნების მდგრადობის შეფასება თვისობრივად შეუძლებელია, მაგალითად, ლიაპუნოვის ან ფაზური სივრცის მეთოდებით.

**ფაზური სივრცის მეთოდის პრინციპი.** დინამიკური სისტემების აღმწერი განტოლებები ჩვეულებრივ არაწვრივია, რის გამოც მათი ამონახსნების მდგრადობის შესაფასებლად აუცილებელია გაწვრივების (ლინეარიზაცია) ოპერაციის ჩატარება. ეს ნიშნავს, რომ განტოლებებში ტოვებენ მხოლოდ მცირე პარამეტრის მიმართ პირველი რიგის წევრებს. ასეთი გზით გაწვრივებული დიფერენციალური განტოლებები ითვლებიან პირველი მიახლოების განტოლებებად [6,8]. ფაზურ სივრცეში დიფერენციალური განტოლებების გაწვრივებული სისტემის მდგრადობის გამოკვლევა ხდება ფაზური პორტრეტების აგების გზით. ამ მეთოდის საშუალებით შესაძლებელია ანალიზური ამონახსნების ასიმპტოტიკური ყოფაქცევის შესწავლა მათი ცხადი სახით წარმოდგენის გარეშე. შესაბამისად, ფაზური სივრცე წარმოადგენს საკმაოდ მოხერხებულ არეს გაწვრივებული დიფერენციალური განტოლებების სისტემის ამონახსნების თვისობრივი ანალიზისათვის.

ზოგადად, დინამიური სისტემის ფაზური პორტრეტი წარმოადგენს ფაზური ტრაექტორიებისა და ფაზური სიბრტყის ისეთი სტრუქტურული ელემენტების ერთობლიობას, რომლებიც ვიზუალურად ასახავენ საწყისი არაწვრივი სისტემის გამარტივების შედეგად მიღებული ამონახსნის თვისებებს. კერძოდ, ფაზური პორტრეტების დახმარებით, დამატებითი განმარტებების გარეშე, შესაძლებელია გაკეთდეს დასკვნები გაწვრივებული განტოლებათა სისტემის შემდეგი თვისობრივი მახასიათებლების შესახებ: სისტემის წონასწორული მდგომარეობების რაოდენობის განსაზღვრა; სისტემის მოძრაობის ხასიათის განსაზღვრა თითოეული წონასწორული მდგომარეობის მახლობლად; წონასწორული მდგომარეობების მდგრადობის შეფასება; სისტემის პერიოდული მოძრაობის არსებობის შესაძლებლობა (შეუძლებლობა); განსხვავებული ხასიათის ფაზური ტრაექტორიების არსებობა, რაც ნიშნავს, რომ მეორე რიგის წრფივი დიფერენციალური განტოლების კოეფიციენტების ცვლილების შემთხვევაში შესაძლებელია წარმოიქმნას ფაზური პორტრეტების ისეთი სიმრავლე, რომელიც შეესაბამება დინამიური სისტემის სხვადასხვა ხასიათის თავისუფალ მოძრაობას. ქვემოთ ნაჩვენები იქნება, რომ სწორედ ასეთი მახასიათებლების არსებობის ჩვენება წარმოადგენს მოცემული ნაშრომის მიზანს.

ფაზური სივრცე, ანუ მდგომარეობათა სივრცე, ზოგადად წარმოადგენს  $n$ -განზომილების მქონე წრფივ სივრცეს, რომელშიც მდგომარეობის ვექტორის კომპონენტები წარმოადგენენ კოორდინატებს. წერტილი ითვლება საწყისად, თუ ის შეესაბამება გარკვეულ საწყის პირობებს ან დროის კონკრეტულ მომენტს. ამიტომ, ასეთი ფაზური (ე.წ. წარმომქმნელი) წერტილი ფაზურ სიბრტყეზე აღნიშნავს წონასწორობის მდგომარეობას დროის მოცემულ მომენტში. დროთა განმავლობაში,  $t=0$  მომენტიდან  $t \rightarrow \infty$ -მდე, კონკრეტული წარმომქმნელი წერტილის კვალი ფაზურ სიბრტყეზე წარმოადგენს ფაზურ ტრაექტორიას. ფაზური სიჩქარე არის ვექტორი, რომელიც განსაზღვრავს წარმომქმნელი წერტილის მოძრაობის მიმართულებას ფაზურ სივრცეში. განსაკუთრებულად ითვლება ისეთი წერტილი, რომე-



ლშიც ფაზური სიჩქარე ნულის ტოლია. განასხვავებენ ფაზური ტრაექტორიის ორ ტიპს: ჩაკეტილს (შეესაბამება სისტემის პერიოდული ხასიათის მოძრაობას) და ღიას (შეესაბამება არაპერიოდულ მოძრაობას). ღია ფაზური ტრაექტორიები იწყებიან საწყის წერტილში და მიისწრაფებიან შემდეგი მიმართულებებით: უსასრულობისკენ; ან რომელიღაც განსაკუთრებული წერტილისაკენ; ან ჩაკეტილი ტრაექტორიისაკენ [7].

**განსაკუთრებული წერტილები ფაზურ სივრცეში.** სამგანზომილებიანი ლამინარული ჰიდროდინამიკური დინების ამოცანების გადაწყვეტა რიგ შემთხვევებში მოითხოვს გარსდენადი ზედაპირის მახლობლად სითხის ლამინარული დინების მახასიათებელი დინების წირების ტოპოლოგიის ანალიზს. ამ თვალსაზრისით განსაკუთრებით საინტერესოა დინების წირების ყოფაცქევა კრიტიკული წერტილების მახლობლად, ანუ იქ, სადაც შესაძლებელია ადგილი ჰქონდეს დენადი გარემოს სტაგნაციას და დინების წირების გარსდენადი ზედაპირიდან „მოწყვეტის“ ეფექტს. განმარტების თანახმად, „მოწყვეტის“ ზედაპირი წარმოადგენს სივრცის სხვადასხვა არედან მოძრავი ნაკადების განცალკევების ზედაპირს. გარსდენის პროცესში ზედაპირის მახლობლად ყალიბდება ორი განსხვავებული არე: გარე ზონა, სადაც დინება იდეალურად შეიძლება ჩაითვალოს; უშუალოდ ზედაპირის მახლობელი არე, რომელშიც მჟღავნდება სითხის სიბლანტის ეფექტი. მონოგრაფიაში [9] ნაჩვენებია იყო, რომ, რადგანაც ნავიე-სტოქსის სრული განტოლების მახასიათებელი დეტერმინანტი განიცდის გადაგვარებას  $\Omega(x,y,z)$  „მოწყვეტის“ ზედაპირის კონფიგურაციის წარმომქმნელი დინების წირების გასწვრივ, ეს ზედაპირი ემორჩილება განტოლებას

$$V_x \frac{\partial \Omega}{\partial x} + V_y \frac{\partial \Omega}{\partial y} + V_z \frac{\partial \Omega}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

სადაც  $V_x, V_y, V_z$  – მოძრავი გარემოს სიჩქარის კომპონენტებია. სწორკუთხა კოორდინატთა სისტემის სათავე მოთავსებულია გლუვი ზედაპირის კრიტიკულ წერტილში, ხოლო  $x$ -ღერძი მიმართულია ვერტიკალურად ზევით.

(1) განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ  $\text{grad} \Omega$  მიმართულია მართობულად  $\Omega(x,y,z)=C$  ზედაპირის მიმართ, ანუ სიჩქარის ვექტორი დინების წირების „მოწყვეტის“ ზედაპირის მართობულია. (1) განტოლების ინტეგრირება იძლევა იმ ლამინარული დინების წირების ტრაექტორიების სურათს, რომლებიც გადიან რომელიღაც საწყის პროფილზე. ეს ამონახსნი იქნება ცალსახა მხოლოდ მაშინ, თუ პროფილი მახასიათებელი არ არის. წინააღმდეგ შემთხვევაში, მცირე რაოდენობრივი ცვლილების გზით, (1)-ის ინტეგრირებით კვლავ მივიღებთ ზღვრული დენის წირების ტრაექტორიების ცალსახა სურათს [6, 7,8].

ითვლება, რომ პირველი რიგის დიფერენციალური განტოლებების ორი სისტემა ტოპოლოგიურად ექვივალენტურია, თუ არსებობს ისეთი ურთიერთ ცალსახა გარდაქმნა, რომლის საშუალებით შესაძლებელია ერთი სისტემის ფაზური პორტრეტის ტრანსფორმაცია მეორის ფაზურ პორტრეტში ისე, რომ დინების წირების ტრაექტორიების საწყისი ორიენტაცია არ შეიცვალოს. არსებობს წრფივი სისტემების საკმაოდ დიდი რაოდენობა, რომელთა მახასიათებელი  $\det A \neq 0$ . ითვლება, რომ ასეთი სისტემები მარტივია, თუ მათი დეტერმინანტების გადაგვარებას ადგილი არ აქვს. ასეთ შემთხვევაში, ორგანზომილებიანი სისტემების ფაზური პორტრეტების ალგებრული ტიპები შეიძლება დაჯგუფდეს ტოპოლოგიურად (თვისობრივად) ექვივალენტურ ოთხ კლასში შემდეგი განსაკუთრებული წერ-

ტილებით: მდგრადი, არამდგრადი, ცენტრი და უნაგირა განსაკუთრებული წერტილები. სამგანზომილებიანი სისტემების შემთხვევაში, თუ განტოლებათა სისტემა არ არის მარტივი ( $\det A=0$ ), ზემოთ აღნიშნულ განსაკუთრებულ წერტილებთან ერთად, ჩნდება კიდევ ორი დამატება: სიბრტყის ყველა წერტილი უძრავია (მატრიცა  $A$  ნულოვანია), ან გვაქვს წრფე, რომელიც გადის კოორდინატთა სისტემის სათავეზე და შედგება უძრავი წერტილებისაგან [7].

გლუვი ზედაპირის გარსდენის ამოცანა სამგანზომილებიანია, ხოლო (1) განტოლების ამოხსნა შესაძლებელია მხოლოდ სიჩქარეთა ველის განსაზღვრის შემდეგ. ზოგადად, გარემოს სიჩქარის კომპონენტები დამოკიდებულნი არიან კოორდინატებზე და კრიტიკული წერტილის არეში მათ უნდა გააჩნდეთ უწყვეტი სასრულო წარმოებულები. შესაბამისად, იდეალური გარემოს შემთხვევაში, მოსახერხებელია სიჩქარის კომპონენტების მოდული წარმოდგენა მრავალწევრების საშუალებით [8]

$$V_x = a_1 x + b_1 y + c_1 z, V_y = a_2 x + b_2 y + c_2 z, V_z = a_3 x + b_3 y + c_3 z. \quad (2)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ გარემო შეიძლება ბლანტი იყოს, (2) წარმოდგენა მოსახერხებელია ისე შეიცვალოს, რომ გათვალისწინებული იყოს ნაკადის დამუხრუჭება არა მარტო კრიტიკულ წერტილში, არამედ მთელ გარსდენად ზედაპირზე. ამ ეფექტის მოდელირებისათვის გამოყენებული იყო შემდეგი არაწრფივი წარმოდგენა [9]

$$V_x = a_1 x^2, V_y = x(a_2 x + b_2 y + c_2 z), V_z = x(a_3 x + b_3 y + c_3 z). \quad (3)$$

ზოგადად, (2) და (3) წარმოდგენების კოეფიციენტები:  $a_1, a_2, \dots, c_3$  ნებისმიერი სიდიდის მუდმივები შეიძლება იყოს. იდეალური უკუმშვადი გარემოს შემთხვევაში, უწყვეტობის განტოლებიდან გვექნება:  $a_1 + b_2 + c_3 = 0$ . ბლანტი სითხისათვის, ანუ (3) წარმოდგენის შემთხვევაში:  $2a_1 + b_2 + c_3 = 0$ .

სიჩქარის კომპონენტების ორივე წარმოდგენა, მრავალწევრებს შორის თვისობრივი განსხვავების მიუხედავად, ტოპოლოგიური თვალსაზრისით ერთნაირ შედეგს იძლევა. მართლაც, რადგანაც დინების წირების „მოწყვეტის“ განტოლება ერთგვაროვანია, არაწრფივი წარმოდგენის (3) ჩასმის შემდეგ შესაძლებელია მისი  $x$  კოორდინატის მიმართ ერთი რიგით დაქვეითება, ანუ განტოლება (1) კვლავ წრფივი წარმოდგენის შესაბამის ფორმას მიიღებს. ეს ნიშნავს, რომ ნებისმიერ შემთხვევაში  $\Omega(x,y,z)$  „მოწყვეტის“ ზედაპირზე, ანუ კრიტიკული წერტილის არეში, დინების წირების მისწრაფება ტოპოლოგიურად იდენტური იქნება. (1) განტოლების მსგავსი პირველი რიგის კერძო წარმოებულებიანი დიფერენციალური განტოლების ამოხსნა ფაზურ სივრცეში შესაძლებელია მახასიათებლების მეთოდით, ე.წ. დინების წირის განტოლების გამოყენებით [8,9]

$$\frac{dx}{V_x} + \frac{dy}{V_y} + \frac{dz}{V_z} = dt, \quad (4)$$

სადაც  $t$  - წარმოდგენს პარამეტრულ ცვლადს.

განტოლება (4) შეიძლება წარმოდგენილი იყოს უფრო კომპაქტურად, მატრიცული ოპერატორის გამოყენებით

$$\frac{dX}{dt} = AX, \quad A = \begin{vmatrix} a_1 & 0 & 0 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix}, \quad (5)$$

სადაც  $X = (x,y,z)$ .

(5)-ის ტიპის სამგანზომილებიანი წრფივი განტოლებათა სისტემა, ორ განზომილებიანის მსგავსად, ითვლება მარტივად, თუ მისი  $\det A \neq 0$ , ხოლო  $A$  მატრიცას არ გააჩნია ნულოვანი საკუთარი რიცხვები. საწინააღმდეგო შემთხვევაში (5)-ის ამონახსნების შესაბამის ფაზურ ტრაექტორიებს შორის შეიძლება დამატებით არსებობდნენ, კრიტიკულის გარდა, სხვა განსაკუთრებული წერტილებიც. მაგალითად, კრიტიკული წერტილი გარსდენად ზედაპირზე, სტაციონარული მდგომარეობის წერტილები, აგრეთვე წონასწორობის მდგომარეობის შესაბამისი ერთ წერტილოვანი ტრაექტორიები.

განტოლებათა სისტემას (5) გააჩნია მახასიათებელი განტოლება  $|A - \lambda I| = 0$ , რომელშიც  $I$  არის ერთეულოვანი დიაგონალური მატრიცა, რომლის საკუთარი რიცხვები წარმოადგენენ კუბური განტოლების ფესვებს [8,9].

$$\lambda^3 - s_1 \lambda^2 + s_2 \lambda - s_3 = 0, \quad (6)$$

(6) განტოლების კოეფიციენტები განისაზღვრებიან  $A$  მატრიცის მინორების საშუალებით. მაგალითად, სიჩქარის კომპონენტების (3) წარმოდგენის შემთხვევაში გვექნება [10,11]

$$\begin{aligned} s_1 &= a_1 + b_2 + c_3 = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 ; \\ s_2 &= a_1 b_2 + b_2 c_3 - b_3 c_2 + a_1 c_3 = \lambda_1 \lambda_2 + \lambda_2 \lambda_3 + \lambda_1 \lambda_3 ; \\ s_3 &= A = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 . \end{aligned} \quad (7)$$

(7) გამოსახულებების საშუალებით კონკრეტულ შინაარსს იძენენ სიჩქარის კომპონენტების მრავალწევრებად წარმოდგენის რიცხვითი კოეფიციენტები. კერძოდ, მათი სხვადასხვა ნაკრებების შერჩევის საშუალებით შესაძლებელია გლუვი ზედაპირის გარსდენის როგორც სიმეტრიული, ასევე ასიმეტრიული, ჰიდროდინამიკური სურათების მოდელირება. მარტივად მისახვედრია, რომ ეს საკითხი პირდაპირ კავშირშია გარსდენადი ზედაპირის ოროგრაფიასთან. ცხადია, რომ მხოლოდ იდეალურად გლუვი ზედაპირის გარსდენა შეიძლება იყოს აბსოლუტურად სიმეტრიული. სხვა შემთხვევაში, მაგალითად, ქარბორბალას ან ტორნადოს სივრცეში გადაადგილების პროცესის მოდელირებისას, საჭიროა დედამიწის ზედაპირის სიმრუდის ეფექტის გათვალისწინება, რაც საკმაოდ მარტივია ფაზური სივრცის ფორმალიზმის ჩარჩოებში. მისი მოდელირება საკმაოდ მარტივად შეიძლება, მაგალითად, (3) წარმოდგენის საშუალებით, ანუ გარსდენადი ზედაპირის სიბრტყეში  $V_y$  და  $V_z$  სიჩქარეთა კომპონენტების რიცხვითი კოეფიციენტების ნიშნისა და სიდიდის ცვლილებით. ამ გზით, აგრეთვე, შესაძლებელია კრიტიკული წერტილის მახლობლად პირდაპირი და უკუდინებების შერევის ეფექტის მოდელირებაც.

დინამიკური სისტემების ფაზური პორტრეტების ასაგებად საჭიროა (5) განტოლების ე.წ. არასაკუთრივი წრფივი გარდაქმნა ახალ სისტემაში, რაც ხორციელდება სპეციალური  $T$  ოპერატორის საშუალებით [11]

$$dW/dt = IW, \quad (8)$$

სადაც ოპერატორი  $I = TA T^{-1}$  წარმოადგენს ე.წ. ჟორდანის მატრიცას.  $A$  ოპერატორის საკუთარი რიცხვებიდან:  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ , ე.ი. (6) განტოლების ფესვების რიცხვითი მნიშვნელობებიდან, გამოდინარე, ჟორდანის მატრიცას გააჩნია შვიდი შესაძლებელი კანონიკური ფორმიდან რომელიმე ერთი:  $I_1$ -საკუთარი რიცხვები ნამდვილია და განსხვავებული;  $I_{21}, I_{22}$ -საკუთარი რიცხვები ნამდვილია და ორი მათგანი თანხვედბა;  $I_{31}, I_{32}, I_{33}$ -საკუთარი რიცხვები ნამდვილია და თანხვედენილი;  $I_4$ - ორი საკუთარი რიცხვი კომპლექსურია. არასაკუთრივი

გარდაქმნა  $I = -TAT^{-1}$  ნიშნავს  $x, y, z$  კოორდინატთა სისტემის ცვლილებას ახალი სწორკუთხა სისტემით:  $w_1, w_2, w_3$ . ეს ოპერაცია ხორციელდება  $x$  ღერძის მიმართ მობრუნების გზით. ამრიგად, ჟორდანის კვადრატული მატრიცის კონკრეტული ფორმა დამოკიდებულია (7) გამოსახულებებში შემავალი (3) წარმოდგენის კოეფიციენტების სიდიდესა და ნიშანზე [8].

**განსაკუთრებული წერტილების კლასიფიკაცია.** (7) გამოსახულებების საშუალებით კონკრეტულ შინაარსს იძენენ სიჩქარის კომპონენტების წარმოდგენაში შემავალი რიცხვითი კოეფიციენტები, რომლებიც, სიმეტრიულის გარდა, იძლევიან, აგრეთვე, გარსდენის ჰიდროდინამიკური სურათის სხვადასხვა ასიმეტრიული ვარიანტების მოდელირების საშუალებას. როგორც უკვე ავღნიშნეთ, ეს საკითხი კავშირშია გარსდენადი ზედაპირის ოროგრაფიასთან, რომელიც მხოლოდ იდეალურ შემთხვევაში არის აბსოლუტურად გლუვი, თანაც მუდმივი სიმრუდის, რომელსაც შეესაბამება სიმეტრიული გარსდენის სურათი. რეალური ზედაპირების გარსდენის შემთხვევაში უნდა დავუშვათ მათი სიმრუდის ცვლილება, რაც, დინების წირების „მოწყვეტის“ ეფექტის გამო, ასიმეტრიული გარსდენის მიზეზი უნდა გახდეს.

საკუთარი რიცხვების მნიშვნელობიდან გამომდინარე, არსებობს სხვადასხვა ტიპის განსაკუთრებული წერტილების ფართო კლასი. მაგალითად: თუ ყველა საკუთარი რიცხვი ნამდვილია და მათ ერთნაირი ნიშანი გააჩნიათ, გვაქვს მდგრადი ან არამდგრადი კვანძი; თუ საკუთარი მნიშვნელობები წარმოადგენენ კომპლექსურად შეუღლებულ სიდიდეთა ნაკრებს და მათ გააჩნიათ ერთნაირი ნიშნის რეალური ნაწილი, მაშინ განსაკუთრებული წერტილი წარმოადგენს მდგრად ან არამდგრად ფოკუსს; როცა საკუთარი რიცხვებს გააჩნიათ როგორც კომპლექსურად შეუღლებული, ასევე, ნამდვილი ნაწილები, გვაქვს მდგრადი ან არამდგრადი კვანძი, კვანძური ფოკუსი, ან უნაგირა-ფოკუსი.

განსაკუთრებული წერტილების ტიპი დამოკიდებულია ლინეარიზაციის მატრიცაზე, ანუ  $A$  ოპერატორის ფესვებზე. მაგალითად: 1) საკუთარი რიცხვები ნამდვილია და ერთი ნიშნის (უარყოფითი). ამ შემთხვევაში კოეფიციენტები:  $S_1 < 0, S_2 < 0, S_3 < 0$  და განსაკუთრებული წერტილი მდგრადი კვანძია, ხოლო თუ ფესვები დადებითია, გვაქვს არამდგრადი კვანძი; 2) საკუთარი მნიშვნელობები წარმოადგენენ კომპლექსური რიცხვების ნაკრებს, რომელთაც გააჩნიათ ერთნაირი ნიშნის, მაგალითად, უარყოფითი, რეალური ნაწილი. ასეთ შემთხვევას შეესაბამება:  $S_1 < 0, S_2 > 0, S_3 > 0$ , ხოლო განსაკუთრებული წერტილი მდგრადი კვანძია. დადებითი რეალური ნაწილის შემთხვევაში გვექნება ფოკუსი; 3) საკუთარ რიცხვებს გააჩნია როგორც კომპლექსურად შეუღლებული, ასევე ნამდვილი მახასიათებლები, თანაც წარმოსახვითი ღერძთან მიმართებაში ერთ მხარეს. თუ ამ ღერძთან უახლოესი მახასიათებელი ნამდვილია, მაშინ განსაკუთრებული წერტილი მდგრადი ან არამდგრადი კვანძია, იმაზე დამოკიდებულებით, რომელ მხარეს, ღერძის მარჯვნივ თუ მარცხნივ, არის ეს მახასიათებელი. ზოგჯერ ასეთ განსაკუთრებულ წერტილს უწოდებენ კვანძ-ფოკუსს; 4) იგივე, რაც წინა შემთხვევაში, მაგრამ კომპლექსურად შეუღლებული მახასიათებლები იმყოფებიან უახლოეს მანძილზე წარმოსახვით ღერძთან. შესაბამისი განსაკუთრებული წერტილი წარმოადგენს მდგრად ან არამდგრად ფოკუსს; 5) თუ მახასიათებლები მდებარეობენ წარმოსახვითი ღერძის ორივე მხარეს, განსაკუთრებული წერტილი წარმოადგენს უნაგირის ტიპის წონასწორულ წერტილს. განასხვავებენ უნაგირს ნებისმიერი რეალური მახასიათებლისათვის და უნაგირა-ფოკუსს იმ შემთხვევაში, თუ გვაქვს კომპლექსურად შეუღლებული საკუთარი რიცხვები.

ჟორდანის მატრიცების სიმრავლიდან, ნახ.1-იდან გამომდინარე, ქარბორბალას ფუძის (განსაკუთრებული წერტილი) არეში დინების წირების ტოპოლოგიის ვირტუალური თვა-ლსაჩინოებისათვის განვიხილოთ ორი შემთხვევა :

1) არასაკუთრივი წრფივი გარდაქმნის შედეგად გვაქვს კანონიკური მატრიცა

$$I_1 = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{pmatrix}, \quad (9)$$

რომლის საკუთარი რიცხვები ნამდვილია და ურთიერთ განსხვავებული. შესაბამისად, (8) განტოლებიდან გვექნება:  $U_1 = C_1 e^{\lambda_1 t}$ ,  $U_2 = C_2 e^{\lambda_2 t}$ ,  $U_3 = C_3 e^{\lambda_3 t}$ , სადაც  $C_1, C_2, C_3$  – მუდმივებია, რომლებიც შეესაბამებიან დენის წირების გარკვეულ ოჯახებს. პარამეტრული ცვლადი  $t$  წარმოადგენს დროს. კრიტიკული წერტილის მახლობლობაში დინების წირები ქმნიან უნაგირა-კვანძის ტიპის ინტეგრალურ ზედაპირს, მდგრადი ან არამდგრადი ბრტყე-ლი კვანძით, იმის მიხედვით, თუ როგორია  $S_1, S_2, S_3$  გამოსახულებებისა და  $A$  მატრიცის საკუთარი რიცხვების ნიშნები [8]. სიმარტივისათვის ნახ.2.1,2-ზე მოცემულია შესაბამისი ტოპოლოგიის მქონე განსაკუთრებული წერტილების ორგანზომილებიანი წარმოდგენა (სივრცული ტოპოლოგიური სურათების გეგმილები სიბრტყეზე). იმ შემთხვევაში, თუ საკუთარი რიცხვები ნამდვილია და უარყოფითი, ხოლო დრო მიისწრაფის უსასრულო-ბისაკენ, ყველა დინების წირის ტრაექტორია მიისწრაფის კოორდინატთა სისტემის სათა-ვისაკენ (კრიტიკული წერტილი), რომელშიც ადგილი აქვს მდგრად წონასწორობას. ასეთი სტრუქტურა ტორნადოს შემთხვევაში ალბათ შეიძლება იყოს მხოლოდ მისი „თვალი“, რომელიც ზოგჯერ საკმაოდ მდგრადია. თუ საკუთარი რიცხვები ნამდვილია, მაგრამ სხვადასხვა ნიშნის, სიბრტყეზე შეიძლება გვქონდეს უნაგირის ტიპის განსაკუთრებული წერტილი (ნახ.2. 6).

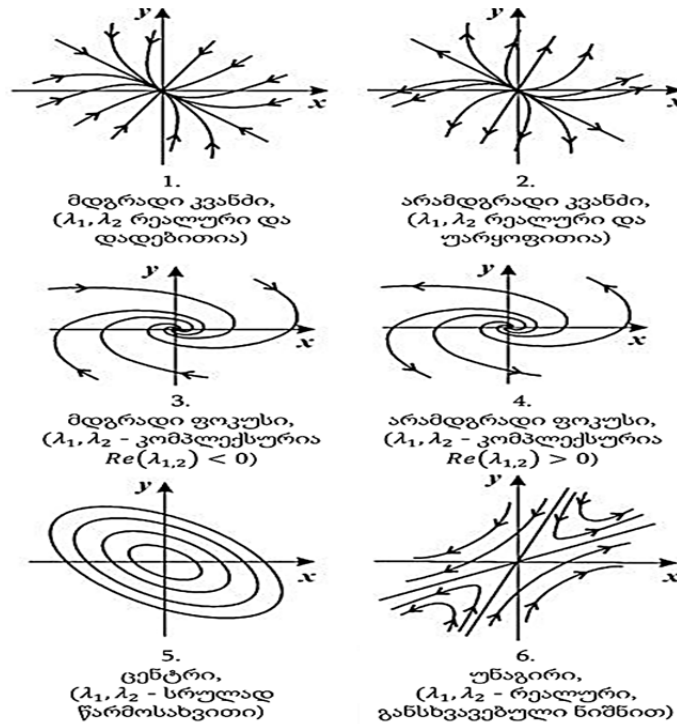
2) კანონიკური მატრიცის ორი საკუთარი რიცხვი კომპლექსურია

$$I_4 = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & Re\lambda_2 & Im\lambda_2 \\ 0 & -Im\lambda_2 & Re\lambda_2 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

შესაბამისად, (8) განტოლების ამონახსნია:  $U = C_1 e^{\lambda_1 t}$ ,  $r = C_2 e^{Re\lambda_2 t}$ ,  $\varphi = Im\lambda_2 (t + C_3)$ . ამ ამონახსნს, საკუთარი რიცხვების:  $\lambda_1$ , და  $Re\lambda_2$ , ნიშნებიდან გამომდინარე, შეესაბამება ე.წ. უნაგირა-სპირალის ტიპის ინტეგრალური ზედაპირი, მდგრადი ან არამდგრადი ფოკუსით ნახ.2.3,4; თუ კომპლექსური რიცხვები ურთიერთ შეუღლებულია, ინტეგრალური ზედა-პირი შეიძლება წარმოადგენდეს მდგრად სივრცულ კვანძს, რომლისკენაც ორივე მხარი-დან მიისწრაფიან კონუსური სპირალები.

აღსანიშნავია, რომ ყველა ფაზურ პორტრეტს სივრცეში ახასიათებს ერთი ნიშანი – მათ გააჩნიათ სპირალური სტრუქტურა, რომლის არსებობა შეიძლება დავაკავშიროთ ბრუნვის ეფექტთან, რომელიც წარმოადგენს ნებისმიერი ატმოსფერული გრიგალის უმთავრეს მახასიათებელს.

3) ზემოთ განხილული ფაზური პორტრეტების გარდა, არსებობენ კიდევ სხვებიც, მა-გალითად: მდგრადი, არამდგრადი და გადაგვარებული კვანძები; მდგრადი და არამდ-გრადი ვარსკვლავური კვანძები; ცენტრი (ნახ.2.5), რომელიც, მდგრადი და არამდგრადი ფოკუსების მსგავსად, შესაფერისია ტორნადოს „თვალის“ ფაზური პორტრეტისათვის. მას შეესაბამება  $I_4$  კანონიკური მატრიცა წმინდა წარმოსახვითი საკუთარი რიცხვებით.



ნახ. 2.

## დასკვნა

ნაშრომში განხილულია ჰაერის (სითხის) დინების წირების შესაძლო ტოპოლოგიური სტრუქტურები ლამინარულ მიახლოებაში, ე.წ. „მოწყვეტის“ ზედაპირის მახლობლად, გარსდენადი ზედაპირის კრიტიკული წერტილის ფაზური პორტრეტების მეთოდის საშუალებით. მსგავსი ხერხი, უხეშ მიახლოებაში, ესადაგება, მაგალითად, გიგანტური სპორადიული ატმოსფერული გრიგალების კრიტიკული წერტილების, ქარბორბალას „ხორთუმის“ ძირისა და ტორნადოს „თვალის“, ტოპოლოგიას. კერძოდ, ფაზური პორტრეტების შესაძლო ტოპოლოგიური მრავალფეროვნებიდან, შესაფერისად შეიძლება მივიჩნიოთ ე.წ. უნაგირა-სპირალი ბრტყელი კვანძით და სივრცული უნაგირა-კვანძი. ეს ფიგურები, რომლებიც წარმოადგენენ ჰიდროდინამიკური კრიტიკული წერტილის გრაფიკულ ანალოგს ფაზურ სივრცეში, შეესაბამებიან ჟორდანის მატრიცის კონკრეტულ კანონიკურ ფორმებს. მათ მიერ სივრცეში შექმნილი ინტეგრალური ზედაპირების ანალიზის საშუალებით შესაძლებელია დინების წირების მისწრაფების ხასიათის თვალნათლივი მოდელირება, რაც ლამინარულ მიახლოებაში თვისობრივ წარმოდგენას იძლევა ქარბორბალისა და ტორნადოს სივრცული სტრუქტურის მსხვილმასშტაბოვან სურათზე. ამ თვალსაზრისით ჰიდროდინამიკური სიჩქარის კომპონენტების კოორდინატების მიმართ მრავალწევრებად წარმოდგენა  $xoy$  სიბრტყეში ნიშნავს, რომ კრიტიკული წერტილის არეში მრავალწევრების რიცხვითი კოეფიციენტები განსაზღვრავენ გარსდენის სურათის სიმეტრიას. ამიტომ, ასიმეტრიული გარსდენის სხვადასხვა ვარიანტების მოდელირება შესაძლებელია რიცხვითი კოეფიციენტების ნიშნისა და სიდიდის ცვლილებით. ეს თავისთავად ნიშნავს ოროგრაფიის ფაქტორისა და კრიტიკული წერტილის მახლობლად პირდაპირი და უკუდინებების შერევის ეფექტის გათვალისწინებას. ზოგადად, აბსტრუქტული ფაზური პორტრეტების ფიზიკური ინტერპრეტაცია ხორციელდება ნავიე-სტოქსის განტოლების შესაბამისი კანონიკური მატრიცის არასაკუთრივი გარდაქმნის შედეგად მიღებული შვიდი განსხვავებული

ქორდანის მატრიცის საშუალებით. რიცხვითი კოეფიციენტების შერჩევის გზით, პრინციპულად შესაძლებელია, მაგალითად, ქარბორბალას ჩასახვისა და მოძრაობის პროცესზე დედამიწის ზედაპირის ოროგრაფიის გავლენის ეფექტის მოდელირება. ასეთ შემთხვევაში შეიძლება შესაფერისი იყოს კრიტიკული წერტილის აბსტრაქცია ისეთი მდგრადი უნაგირა-კვანძით ან უნაგირა-სპირალით, რომელიც იწყება ბრტყელ კვანძში და შემდგომში იშლება სივრცეში. უნდა აღინიშნოს, რომ, ქარბორბალასაგან განსხვავებით, ტორნადოს მსგავსი განსაკუთრებით რთული სპორადიული ატმოსფერული მოვლენის ტოპოლოგიური აბსტრაქცია, როგორც სჩანს, მოითხოვს ფაზური პორტრეტების უფრო ფართო სიმრავლის განხილვას.

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. М., Мир, 1986. 415 с.
2. Houze Jr. R.A. Clouds in tropical cyclones. Monthly Weather Review, Vol. 138, No. 2, 2010, pp. 293-344.
3. Руткевич П.Б., Руткевич Б.П., Комарова Н.Ю. Об атмосферных вихрях типа торнадо в модели аксиальной конвекции с влажным воздухом. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 14, № 2, 2017, с. 221-229.
4. Мельников В. П., Смутьский И. И. Механизмы атмосферных вихрей. Криосфера Земли, № 1, 1997, с. 87-96.
5. Алиев И. Н., Ляtifов Р. Э. Простая модель механизма зарождения воздушных вихрей в атмосфере. Вестник Московского государственного областного университета, №2, 2023, с.6-19, DOI: 10.18384/2310-7251-2023-2-6-19.
6. Wang K.C. On the determination of the zones of influence and dependence for three-dimensional boundary layer equation. JFM, v.48, 1971, p. 540-556.
7. Молевич Н.Е. Нелинейная динамика. Из-во Самарского государственного аэрокосмического университета, 2007, 159 с.
8. Rein J.W. Classification and description of the singular points of a system of three linear differential equations. ZAMP, v.15, 1964, pp.14-59.
9. Шевелев Ю.Д. Трехмерные задачи теории ламинарного пограничного слоя. М., Наука, 1977, 224 с.
10. Кереселидзе З.А. МГД эффекты конечной электрической проводимости солнечного ветра вблизи магнитосферы Земли. изд-во ТГУ, Тбилиси, 1986, 122 с.
11. Метьюз Дж, Уокер Р. Математические методы физики. М., Атомиздат, 1972, 399 с.

### მსხვილმასშტაბოვანი ატმოსფერული გრიგალების ფაზურ პორტრეტებთან დაკავშირებით

კერესელიძე ზ.

რეზიუმე

მსხვილმასშტაბოვანი ატმოსფერული გრიგალების თვისობრივ-რაოდენობრივი მოდელები წარმოადგენენ მრავალრიცხოვანი მეტეოროლოგიური მონაცემების ინტერპრეტაციის შედეგს. ამასთან, მოცემული უნდა იყოს გრიგალის საწყისი მდგომარეობის დროში ევოლუციის რაღაც კანონი. მხოლოდ ასეთი შემთხვევაში იქნება მათემატიკური თვალსაზრისით კორექტული ქარბორბალას ან ტორნადოს მსგავსი გრიგალური ატმოსფერული მოვლენების მოდელირება. ამ მიზნით სასარგებლო შეიძლება იყოს გრიგალების ფაზური პორტრეტების ფიზიკური ინტერპრეტაცია. მაგალითად, გარსდენადი ზედაპირის კრიტიკული წერტილის მახლობლად ფაზური პორტრეტების წარმომქმნელი ე.წ. კანონიკური მატრიცის შესაძლო ტიპები შეიძლება განისაზღვროს მრავალწევრებად წარმოდგენილი ჰიდროდინამიკური სიჩქარის კომპონენტების საშუალებით. ამ მრავალწევრების რიცხვითი კოეფიციენტები განსაზღვრავენ გარსდენის სურათის სიმეტრიის ხასიათს. ამი-

ტომ, მათი კოეფიციენტების სიდიდისა და ნიშნის შერჩევის გზით პრინციპულად შესაძლებელია თვისობრივ დონეზე მსჯელობა ქარბორბალას ჩასახვისა და მისი მოძრაობის პროცესში დედამიწის ზედაპირის ოროგრაფიის გავლენის შესახებ. კერძოდ, კრიტიკული წერტილის მოდელირებისათვის შეიძლება შესაფერისი იყოს ტოპოლოგიური აბსტრაქცია მდგრადი უნაგირა-კვანძით ან უნაგირა-სპირალით. მათი წრმომქმნელი დინების წირები იწყება ბრტყელ კვანძში ან უნაგირზე და იშლება სივრცეში. ქარბორბალასაგან განსხვავებით, ტორნადოს ტოპოლოგიური აბსტრაქცია მოითხოვს გაცილებით უფრო მრავალფეროვანი ტიპების ფაზური პორტრეტების ცოდნას.

**საკვანძო სიტყვები:** ატმოსფერული გრიგალები, ტორნადო, ფაზური პორტრეტები.

## ABOUT THE PHASE PORTRAITS OF LARGE-SCALE ATMOSPHERIC VORTICES

**Kereselidze Z.**

### Abstract

Qualitative and quantitative models of large-scale atmospheric vortices are the result of the interpretation of numerous meteorological data. Also, a certain law governing the time evolution of the initial state of the vortex should be provided. Only in this case will the modeling of vortical atmospheric phenomena, such as a whirlwind or tornado, be mathematically correct. For this purpose, the physical interpretation of the phase portraits of the vortices can be useful. For example, the possible types of the so-called canonical matrix generating the phase portraits near the critical point of a body-enclosing surface can be determined by means of the hydrodynamic velocity components represented as polynomials. The numerical coefficients of these polynomials determine the nature of the symmetry of the flow pattern. Therefore, by selecting the magnitude and sign of their coefficients, it is in principle possible to qualitatively discuss the influence of the Earth's surface orography on the process of a whirlwind's inception and motion. Particularly, a topological abstraction with a stable saddle-node or saddle-focus may be suitable for modeling the critical point. Their generating streamlines start at a flat node or saddle and dissipate into space. Unlike a whirlwind, the topological abstraction of a tornado requires the knowledge of a much wider variety of phase portrait types.

**Key words:** atmospheric vortices, tornado, phase portraits.

## К ВОПРОСУ ФАЗОВЫХ ПОРТРЕТОВ КРУПНОМАСШТАБНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ВИХРЕЙ

**Кереселидзе З.**

### Реферат

Качественно-количественные модели крупномасштабных атмосферных вихрей являются результатом интерпретации многочисленных метеорологических данных. При этом необходимо задать какой-либо закон эволюции во времени начального состояния вихря. Только в таком случае будет корректным моделирование атмосферных вихрей, подобных смерчу или торнадо. С данной целью возможно является полезным физическая интерпретация фазовых портретов вихрей. Например, возможные типы канонической матрицы, производящей фазовые портреты вблизи критической точки обтекаемой поверхности, можно определить при помощи компонент гидродинамической скорости, представленных в виде многочленов. Численные коэффициенты этих многочленов симметрию картины обтекания. Поэтому, путем выбора величины и знака коэффициентов принципиально возможно на качественном уровне судить о влиянии орографии земной поверхности на процесс зачатия и распространения смерча. В частности, для моделирования критической точки может оказаться уместной топологическая абстракция устойчивым седловым узлом или седловой спиралью. Линий тока, создающие эти фигуры, начинаются в плоском узле или седле и распространяются в виде спиралей. В отличие от смерча, для топологической абстракции торнадо необходимо знание более разнообразного набора типов фазовых портретов.

**Ключевые слова:** атмосферные вихри, торнадо, фазовые портреты.



**ქ. ქუთაისის ჰაერის PM<sub>2.5</sub>-ით დაბინძურების სიმულაცია  
მიწისპირა შტილისა და თავისუფალ ატმოსფეროში  
ბაროკლინური დასავლეთის ქარის შემთხვევაში**

<sup>1,2</sup>სურმავა ა., <sup>1</sup>გიგაური ნ., <sup>2</sup>კუხალაშვილი ვ., <sup>1</sup>ინჭკირველი ლ., <sup>3</sup>სესამე ვ.

<sup>1</sup>საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი,  
თბილისი, საქართველო

<sup>2</sup>ივ.ჯავახიშვილის თბილისის სხელმწიფო უნივერსიტეტის მ.ნოდია სახ. გეოფიზიკის  
ინსტიტუტი, თბილისი, საქართველო

<sup>3</sup>საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო  
e-mail: [L.inwkirveli@gtu.ge](mailto:L.inwkirveli@gtu.ge)

**შესავალი**

ეკოლოგიური პრობლემებიდან განსაკუთრებით აქტუალურია ატმოსფეროს მიკრო-აეროზოლებით დაბინძურება. ამ პრობლემის გადასაჭრელად ეფექტურად გამოიყენება ინდუსტრიული ცენტრების, მეგაპოლისების და ცალკეულ მცირე ქალაქების ატმოსფეროში მათი გავრცელების რიცხვითი მოდელირება, სადაც მათი კონცენტრაციები ჰაერში ხშირად აღემატება ზღვრულად დასაშვებ დონეს [1-5]. პრობლემის აქტუალობა გამოწვეულია იმ გარემოებით, რომ ჰაერში მიკროაეროზოლის ჭარბი შემცველობა ნეგატიურ ზემოქმედებას ახდენს ადამიანთა ჯანმრთელობაზე, იწვევს სხვადასხვა რთულ დაავადებებსა და, ხშირ შემთხვევებში, სიკვდილსაც კი [6-8].

ბოლო წლებში, გატარებული ჰაერდამცავი ღონისძიებების შედეგად, შემცირდა მიკროაეროზოლების ემისიები და გაუმჯობესდა ატმოსფეროს სისუფთავის ხარისხი. თუმცა, მთელ რიგ ქალაქებში, ჰაერის დაბინძურების დონე კვლავ აღემატება ევროკავშირის სტანდარტებს [9-12].

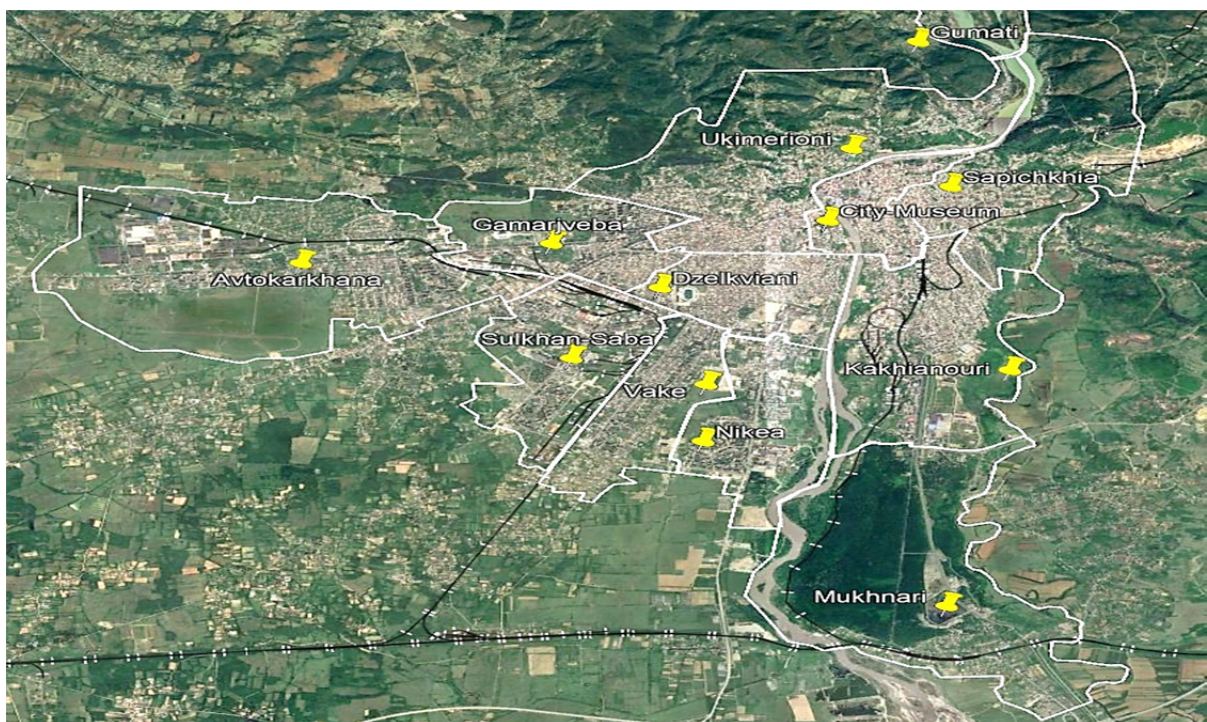
ქ. ქუთაისი საქართველოს სიდიდით მეორე ქალაქია. მას გააჩნია მნიშვნელოვანი ადმინისტრაციული, საერთაშორისო, სამედიცინო – გამაჯანსაღებელი და ტურისტული დაწესებულება, ყოველწლიურად მას სტუმრობს ასეულ ათასობით ადამიანი. ქალაქის ფუნქციიდან გამომდინარე, გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობის შესწავლას, შეფასებას, დაბინძურების დონის დიაგნოსტიკურ პროგნოზს და ჰაერის სისუფთავის მაღალი დონის შენარჩუნებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება. ამავე დროს, უნდა აღინიშნოს, რომ დაკვირვების ორ პუნქტში ჩატარებული მონიტორინგს არ ძალუძს სრულად ასახოს ქალაქის ჰაერის სისუფთავის სრული მდგომარეობა ისეთი რთული რელიეფის ქალაქში, როგორც ქუთაისია. ქ. ქუთაისში მიკროაეროზოლების მონიტორინგი იწყება 2018 წლიდან და ხორციელდება დაკვირვების ორ სტაციონალურ პუნქტში. დაკვირვების პუნქტის მონაცემების მიხედვით ქუთაისი არ მიეკუთვნება მსოფლიოს ძლიერ დაბინძურებული

ქალაქების რიცხვს [11, 12], თუმცა, ცალკეულ შემთხვევებში ჰაერში მათი კონცენტრაცია აჭარბებს ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობას [11, 13, 14]. ამიტომ, წარმოდგენილ სტატიაში, ზემოთ აღნიშნული პრობლემის დასაძლევად, ატმოსფეროში მინარევის გავრცელების კომპიუტერული მოდელირების საშუალებით სიმულირებული და გაანალიზებულია ქ. ქუთაისსა და მიმდებარე ტერიტორიაზე ატმოსფეროში ავტოტრანსპორტის მიერ წარმოშობილი და ჰაერში ემისირებული PM<sub>2.5</sub>-ის გავრცელებისა და დროში ცვლილების ხასიათი.

**კვლევის მეთოდი.** კავკასიაში მეზომასშტაბის ატმოსფერული პროცესების განვითარების 3D მოდელისა და ატმოსფეროში პასიური დამაბინძურებელი მინარევების გავრცელების განტოლების ერთობლივი ინტეგრირებით [15-17] რიცხობრივად სიმულირებულია ავტოტრანსპორტის მიერ გაფრქვეული PM<sub>2.5</sub>-ის გავრცელება ქ. ქუთაისის ჰაერში.

**რიცხვითი მოდელირების შედეგები.** PM<sub>2.5</sub> აეროზოლების გავრცელება მოდელირდება 13.4×13.4×9 კმ<sup>3</sup> სივრცულ არეში (ნახ. 1), რომლის ცენტრში მოთავსებულია ქ. ქუთაისი. მოდელირების არეში ოროგრაფიის სიმაღლე იცვლება 80 მ-დან 400 მ-მდე. მათემატიკური მოდელის [17, 18] განტოლებების რიცხვითი ინტეგრირება განხორციელებულია შესაბამისი საწყისი და სასაზღვრო პირობების გამოყენებით. რიცხვითი ბადის ბიჯები ჰორიზონტალური მიმართულებით 200 მ-ია, ვერტიკალური მიმართულებით თავისუფალ ატმოსფეროში-300 მ. ატმოსფეროს მიწისპირა 100 მ სისქის ფენაში ვერტიკალური ბიჯები იცვლება 0.3-დან 15 მ-მდე. დროითი ბიჯი 1 წმ-ია. გამოთვლები ჩატარებულია 3 დღე-ღამის პერიოდისათვის.

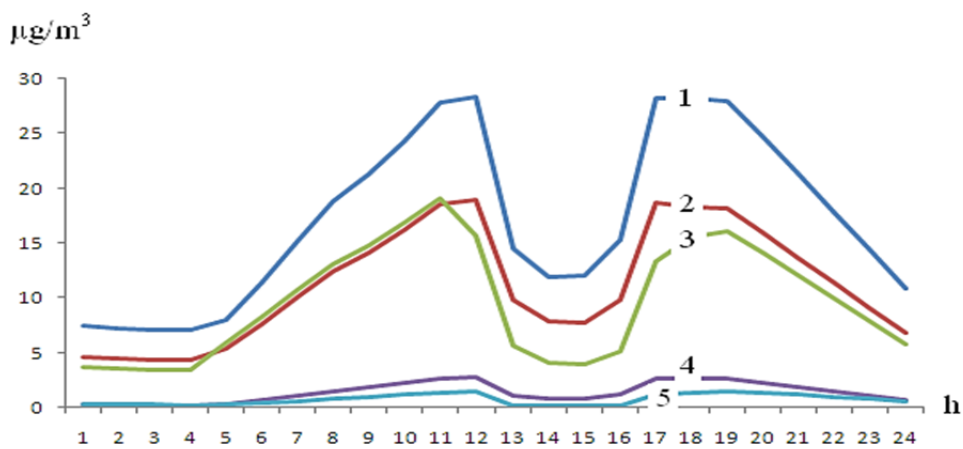
მოდელირებულია დეკემბრის თვეში ქ. ქუთაისის ატმოსფეროს PM – ით დაბინძურების შემთხვევა. ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის სიმაღლეზე (100 მ) ადგილი აქვს შტილურ სიტუაციას – ფონური ქარის სიჩქარე 0 მ/წმ-ია. მიწისპირა ფენის ზევით ქარი დასავლეთისაა, მისი სიჩქარე წრფივად იზრდება სიმაღლის ზრდასთან ერთდ



ნახ. 1. ქ. ქუთაისის რელიეფი, ადმინისტრაციული ერთეულები და ურბანული განაშენიანება.

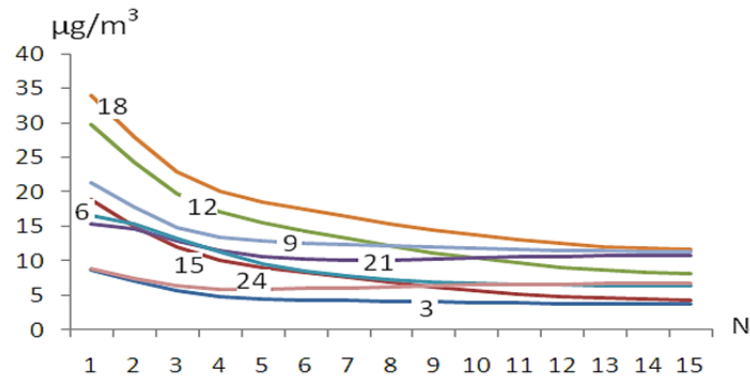
დაშვებულია, რომ ატმოსფეროს PM2.5 დაბინძურება ხდება ავტოტრანსპორტის მოძრაობის შედეგად ქალაქისა და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე. აეროზოლი გაიფრქვევა მიწის ზედაპირიდან 0.3 მ სიმაღლეზე 5 ტიპის არეში: ავტომაგისტრალების, ქალაქის ცენტრალური ქუჩების, საცხოვრებელი, სამრეწველო ზონებისა და მიმდებარე სოფლების დაუსახლებელ ტერიტორიებზე. გაფრქვევის სიჩქარე სხვადასხვა უბანში, პერიოდულია 24 სთ-ით და პროპორციულია ავტოტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობის. ის მინიმალურია 0-4 სთ დროის ინტერვალში, შემდეგ წრფივად იზრდება 4-დან 10 სთ-მდე და მუდმივია 10-დან 18 სთ-მდე დროის ინტერვალში. 18-24 სთ-მდე გაფრქვევის სიჩქარე წრფივად მცირდება და ხდება 0 სთ-ზე არსებული გაფრქვევის სიჩქარის ტოლი.

ნახ. 2-ზე ნაჩვენებია PM2.5-ის გამოთვლებით მიღებული კონცენტრაციების დროში ცვლილების გრაფიკები დაბინძურების 5 ძირითადი ტიპის პუნქტისათვის. ნახ. 2-დან ჩანს, რომ კონცენტრაციის დროში ცვლილება თვისობრივად ერთნაირია დაბინძურების ყველა ტიპის პუნქტისათვის და ხასიათდება ორი დიდი და ორი მცირე მნიშვნელობების ინტერვალებით. კონცენტრაციის დიდი მნიშვნელობები მიღებულია დაახლოებით 11-13 სთ და 17-19 სთ დროის ინტერვალში, ხოლო მცირე - 0-4 სთ და 13-16 სთ ინტერვალში. უნდა აღინიშნოს, რომ კონცენტრაციათა დროში ცვლილება, ერთნაირი მეტეოროლოგიური და დაბინძურების პირობების დროს, ზაფხულისა [17] და ზამთრის სეზონში თვისობრივად ერთნაირი და რაოდენობრივად განსხვავებულნი არიან. განსხვავება მდგომარეობს მაღალი დაბინძურების დადგომის პერიოდში. მაქსიმალური დაბინძურება ზაფხულის სეზონში [17], ზამთრის სეზონთან შედარებით, მიიღება დაახლოებით 2-3 სთ-ით ადრე დღის პირველ ნახევარში, და 2-3 სთ-ით გვიან - დღის მეორე ნახევარში. აღნიშნული ეფექტი დაკავშირებულია ატმოსფეროს თერმული მდგრადობის დროში ცვლილებასთან. ზაფხულის სეზონში, დილით ადრე სწრაფად ცივდება ნიადაგის ზედაპირი და მასთან არსებული ატმოსფეროს მიწისპირა ფენა, შესაბამისად მცირდება ტემპერატურის ვერტიკალური გრადიენტი  $\gamma = \partial T / \partial z$  (T არის ტემპერატურა, z - ვერტიკალური კოორდინატა), იზრდება თერმული მდგრადობის კოეფიციენტი  $S = \gamma_a - \gamma$  ( $\gamma_a$  მშრალი ადიაბატური გრადიენტი).

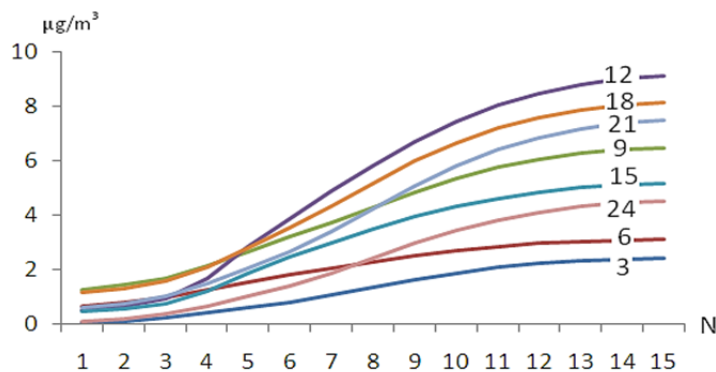


ნახ. 2. გამოთვლებით მიღებული PM2.5-ის კონცენტრაციების დროში ცვლილება ავტომაგისტრალის (1), ქალაქის ცენტრალური ქუჩის (2), სამრეწველო (3), სასოფლო (4) ზონები და დაუსახლებელ (5) პუნქტში მიწის ზედაპირიდან 2 მ სიმაღლეზე.

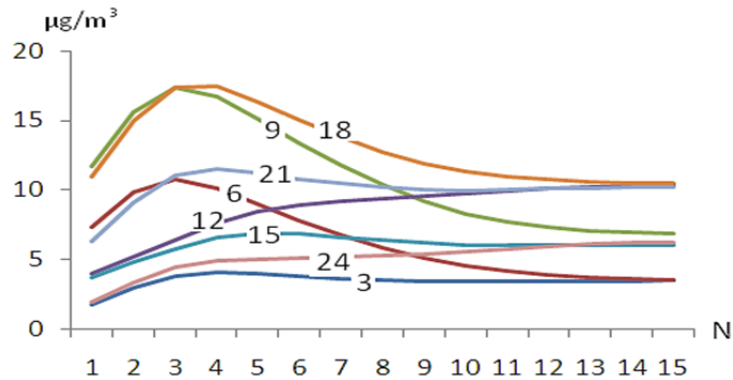
შედეგად, ჰაერის მიწისპირა ფენა ხდება დინამიკურად უფრო მდგრადი და ნაკლებად ტურბულიზებული. ტურბულენტობის შემცირებას თან სდევს გამონაბოლქვი აეროზოლის ინტენსიური დაგროვება მიწისპირა ფენის ქვედა ნაწილში და დაბინძურების დონის გაზრდა. ანალოგიურ პროცესს აქვს ადგილი ზაფხულის სეზონში დღის მეორე ნახევარში, დაახლოებით 19-დან -20 სთ-მდე ინტერვალში. კონცენტრაციათა დროში ცვლილების ხასიათი სხვადასხვაა გაფრქვევათა სხვადასხვა ტიპის უბნისათვის. ავტომაგისტრალზე, ქალაქის ცენტრალურ ქუჩებზე და სამრეწველო უბანში მდებარე პუნქტებში 2 მ სიმაღლეზე კონცენტრაციის წრფივი და სწრაფი ზრდა დილით გრძელდება 11 სთ-მდე, ე.ი. გაფრქვევის სიჩქარის ზრდასთან შედარებით 1 სთ-ით მეტ ხანს. შემდეგ, ავტომაგისტრალზე და ქალაქის ცენტრალურ ქუჩებზე 11-დან 12 სთ-მდე, მიღებულია კონცენტრაციის სუსტი ზრდა, სამრეწველო უბანში მდებარე პუნქტში – კონცენტრაციის ინტენსიური შემცირება. სასოფლო-სამეურნეო ზონებსა და დაუსახლებელ პუნქტებში კონცენტრაციის წრფივი ზრდა გრძელდება 12 სთ-მდე. 12-დან 17 სთ-მდე აეროზოლის გაფრქვევის სიჩქარე მუდმივია. მიუხედავად ამისა, ყველა ტიპის პუნქტში, ადგილი აქვს კონცენტრაციის დროში პარაბოლის მაგვარ ცვლილებას, რომლის მინიმალური მნიშვნელობა მიიღება დღის 14-დან 15 სთ-მდე. ფიზიკურად, კონცენტრაციის დროში აღნიშნული ცვლილება დაკავშირებულია ქვეფენილი ზედაპირისა და მასთან მდებარე ჰაერის მასის თერმული ურთიერთქმედებასთან, რომლის დროსაც იცვლება ატმოსფეროს სტრატეფიკაცია და ჰაერის ტურბულიზაციის ხასიათი. 17-19 სთ-ის შემდგომ 24 სთ-მდე კონცენტრაციის დროში ცვლილება, დღის 12 სთ-მდე მიღებული ცვლილების საპირისპიროა და განპირობებულია ავტოტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობისა და ატმოსფეროში გაფრქვევების დროში ცვლილებით.



ნახ. 3. PM2.5 კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილება ავტომაგისტრალზე მდებარე პუნქტში ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში 3, 6, ..., 24 სთ. (N ვერტიკალური რიცხვითი ბადის ნომერი).



ნახ. 4. PM2.5 კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილება სასოფლო დანიშნულების ტერიტორიაზე მდებარე პუნქტში ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში 3, 6, ..., 24 სთ. (N ვერტიკალური რიცხვითი ბადის ნომერი).



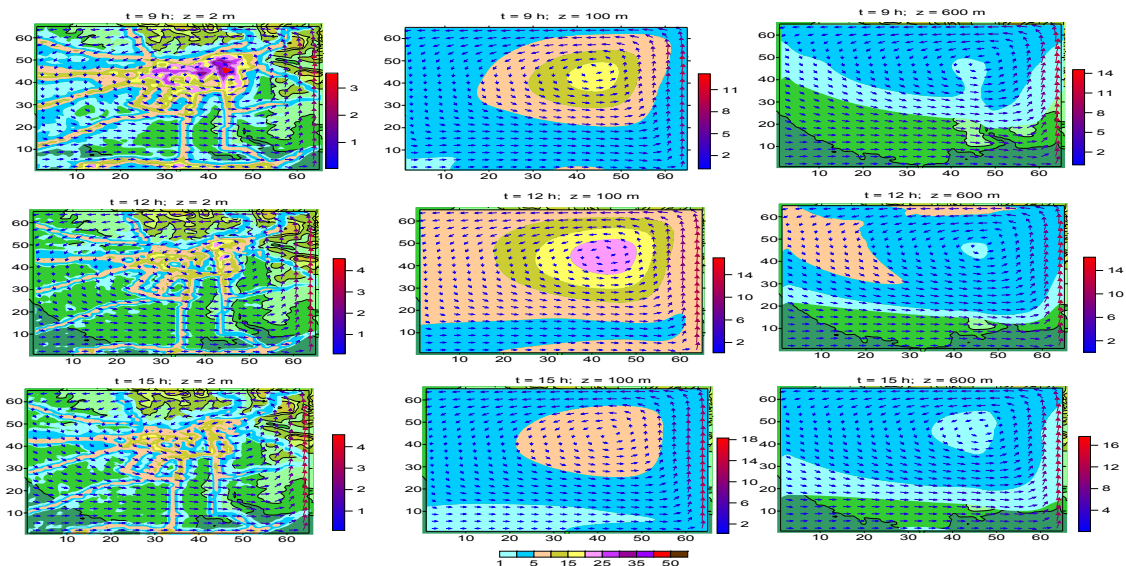
ნახ. 5. PM2.5 კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილება სამრეწველო დანიშნულების ტერიტორიაზე მდებარე პუნქტში ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში 3, 6, ..., 24 სთ. (N ვერტიკალური რიცხვითი ბადის ნომერი).

ნახ. 3-5-ზე ნაჩვენებია გამოთვლებით მიღებული კონცენტრაციის მნიშვნელობები ვერტიკალური ბადის წერილებში ავტომაგისტრალის, სამრეწველო და სასოფლო ტერიტორიაზე მდებარე პუნქტებში. ნახ. 3-5-დან ჩანს, რომ აღნიშნულ პუნქტებში კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილება მნიშვნელოვნად განსხვავდება, როგორც თვისობრივად ისე რაოდენობრივად. ავტომაგისტრალზე მდებარე პუნქტში, დროის ნებისმიერ მომენტში, კონცენტრაციის მნიშვნელობები მაქსიმალურია (9-34 მკგ/მ<sup>3</sup>) ქვეფენილი ზედაპირის უშუალო სიახლოვეს მდებარე N =1 წერტილში (0.3 მ) და მცირდება სიმაღლის ზრდასთან ერთად. შემცირება ინტენსიურია ქვედა 10 მ სისქის ფენაში (N = 5). 10 მ ზევით კონცენტრაციის შემცირება მიმდინარეობს უფრო გლუვად და 100 მ სიმაღლეზე (N=16) მისი მნიშვნელობები იცვლება 4-10 მკგ/მ<sup>3</sup> ფარგლებში.

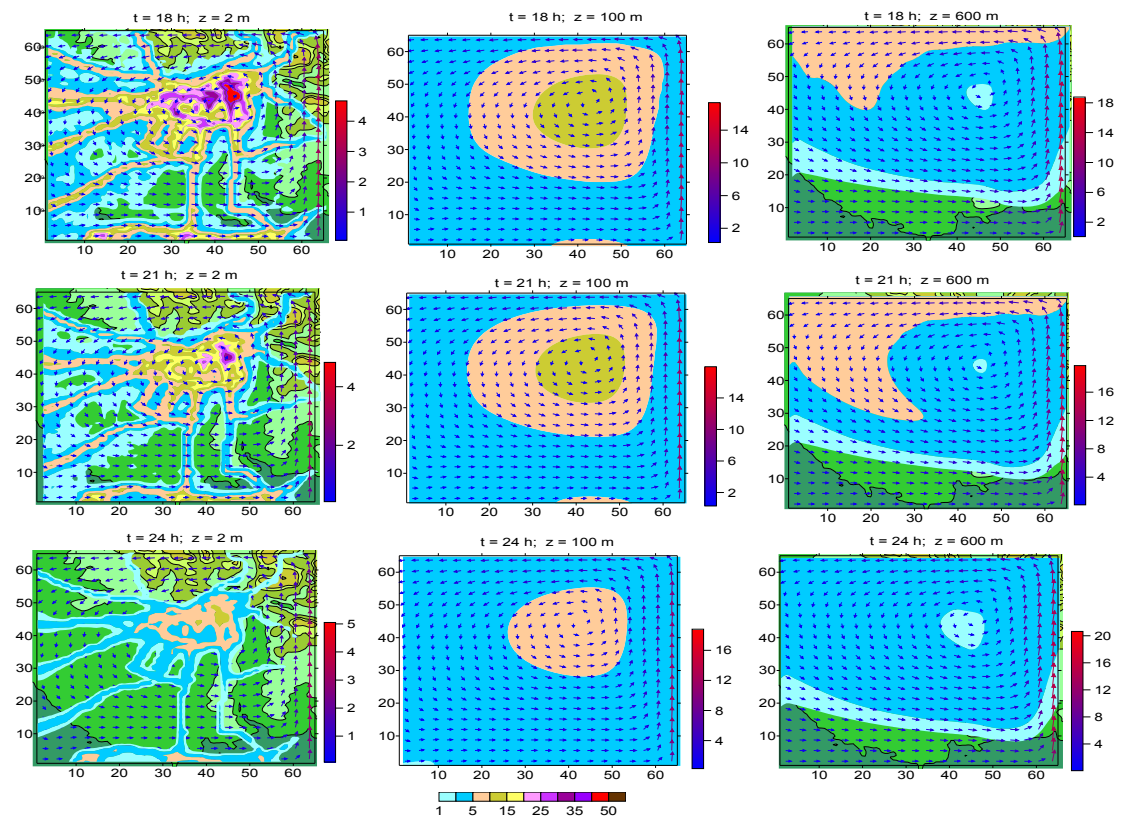
საპირისპიროა კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილება სასოფლო დანიშნულების პუნქტში (ნახ 4). ის მინიმალურია ქვეფენილი ზედაპირის უშუალო სიახლოვეს (0-1.2 მკგ/მ<sup>3</sup>), იზრდება სიმაღლის ზრდასთან ერთად და 12, 18 და 21 სთ-ზე 100 მ სიმაღლეზე ხდება 9, 8 და 7.5 მკგ/მ<sup>3</sup>-ის ტოლი, შესაბამისად. კონცენტრაციის აღნიშნული ზრდა გამოწვეულია ძლიერი დაბინძურების წყაროდან ვერტიკალურად გადატანილი აეროზოლის შემდგომი ჰორიზონტალური დიფუზიით.

მეტად საინტერესოა სამრეწველო რაიონში მდებარე პუნქტის თავზე კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილების სურათი (ნახ. 5). მისთვის დამახასიათებელია კონცენტრაციის ზრდა მთელს მიწისპირა ფენაში დღის 0 დან 4 სთ-მდე ინტერვალში და 12 სთ-ისთვის. ამასთან, კონცენტრაცია შედარებით სწრაფად იზრდება ქვედა 10 მეტრიან ფენაში და შედარებით სუსტად – მის ზევით. დროის დანარჩენი მომენტისათვის კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილების გრაფიკს აქვს მკაფიოდ გამოხატული „ბურცობის“ ფორმა მიწის ზედაპირიდან 3-10 მ-ის ფარგლებში. ამ ფენაში კონცენტრაციის მნიშვნელობები ვარიირებს 10-დან 17.5 მკგ/მ<sup>3</sup>-მდე.

ნახ. 6 და 7-ზე ნაჩვენებია მოდელირებით მიღებული ქარის სიჩქარისა და PM2.5-ის ველები დროის ორ ინტერვალში – კონცენტრაციის ზრდისა და შემცირების დროს მიწის ზედაპირიდან 2, 10 და 600 მ სიმაღლეებზე. ამ ნახაზებიდან ჩანს რომ ქ. ქუთაისის რელიეფის ზემოქმედება ფონური ქარის შტილის დროს წარმოშობს ქარის სიჩქარის ლოკალურ ციკლონურ გრიგალს. გრიგალი კვაზისტაციონალურია. მისი ცენტრი მდებარეობს ქ. ქუთაისის ჩრდილო-აღმოსავლეთით არსებულ რთული რელიეფის მქონე ქალაქი-მუზეუმის, უქიმერიონისა და ძელქვიანის ადმინისტრაციული ერთეულების ტერიტორიებზე.



ნახ. 6. PM<sub>2.5</sub>-ის კონცენტრაციის (მკგ/მ<sup>3</sup>) და ქარის სიჩქარის (მ/წმ) ველის განაწილება მიწის ზედაპირიდან 2, 100 და 600მ სიმაღლეებზე t = 9, 12 და 15 სთ.



ნახ. 7. PM<sub>2.5</sub>-ის კონცენტრაციის (მკგ/მ<sup>3</sup>) და ქარის სიჩქარის (მ/წმ) ველის განაწილება მიწის ზედაპირიდან 2, 100 და 600მ სიმაღლეებზე t = 18, 21 და 24 სთ.

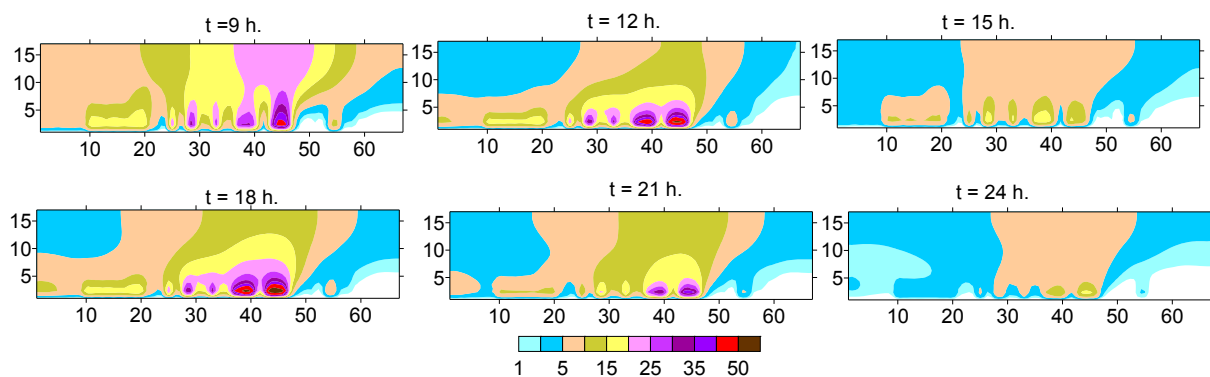
ქარის სიჩქარის ციკლონური გრივალი ქმნის PM<sub>2.5</sub>-ის შესაბამის სივრცულ განაწილებას. ციკლონური ცირკულაციის დამახასიათებელი კონვერგენციის პროცესი ქვეფენილი ზედაპირის თავზე ახდენს აეროზოლის დაგროვებას ციკლონის ცენტრში ქალაქიმუზეუმის, ძელქვიანისა და უქიმირეონის ადმინისტრაციული ერთეულების მიდამოებში. ამ ტერიტორიებზე მიწის ზედაპირიდან 2 მ სიმაღლეზე დილის 9 სთ-ზე კონცენტრაციის მნიშვნელობა აჭარბებენ 25 მკგ/მ<sup>3</sup> და აღწევს 50 მკგ/მ<sup>3</sup>-ს (ნახ. 6). სიმაღლის ზრდასთან ერ-

თად იზრდება აეროზოლის ჰორიზონტალური გავრცელების არე და მცირდება კონცენტრაცია. მიწის ზედაპირიდან 100 მ სიმაღლეზე კონცენტრაციის იზოზოლებს გააჩნია წრიული ფორმა ციკლონის ცენტრის თავზე, სადაც მისი მნიშვნელობა 15-25 მკგ/მ<sup>3</sup>-ია. ცენტრიდან დაშორებისას კონცენტრაციის მნიშვნელობა მცირდება 5 მკგ/მ<sup>3</sup>-მდე და თვითონ იზოარეები თანდათანობით ღებულობს ოთხკუთხედის ფორმა. უფრო მაღლა, მიწის ზედაპირიდან 600 მ სიმაღლეზე, კონცენტრაციის მაქსიმალური მნიშვნელობა არ აღემატება 5მკგ/მ<sup>3</sup> – ს. ციკლონის „თვალის“ მიდამოებში კონცენტრაცია 1-2.5 მკგ/მ<sup>3</sup>-ია.

12 სთ და 15 სთ-ზე მიწისპირა კონცენტრაციების ჰორიზონტალური განაწილება ძირითადად ერთმანეთის მსგავსია. კონცენტრაციის შედარებით მაღალი მნიშვნელობები 15-25 მკგ/მ<sup>3</sup> მიღებულია ქალაქის ცენტრალურ ნაწილში, გამარჯვებისა და სულხან-საბას ადმინისტრაციულ ერთეულების მცირე ზომის არეებში. მიწის ზედაპირიდან 100 მ სიმაღლეზე ვერტიკალური გადატანის შედეგად ადგილი აქვს კონცენტრაციის ზრდას, რომელიც მიმდინარეობს დაახლოებით 3-4 სთ ფაზური ჩამორჩენით და 12 სთ-ზე ქმნის მნიშვნელოვან არეს სადაც კონცენტრაციის მნიშვნელობები იცვლებიან 20-25 მკგ/მ<sup>3</sup> -ის ფარგლებშია. მიწის ზედაპირიდან 600 მ სიმაღლეზე კონცენტრაცია იცვლება 1-10 მკგ/მ<sup>3</sup>-ის მიდამოებში, თანაც ისე რომ მაღალი მნიშვნელობები მიღებულია მოდელირების არის დასავლეთ და ჩრდილოეთ ნაწილში. აღნიშნული ეფექტი მიუთითებს ამ დონეზე დივერგენციული გადატანის ეფექტის წვლილის ზრდას.

ნახ. 7-ზე ნაჩვენებია მოდელირებით მიღებული კონცენტრაციის იზოზოლები 18, 21 და 24 სთ. ნახ. 7-დან ჩანს, რომ კონცენტრაციის განაწილების სურათი მიწის ზედაპირიდან 2 მ სიმაღლეზე მსგავსია 9-15 სთ-თვის მიღებული განაწილების სურათის (ნახ. 6), უფრო მაღალ დონეებზე ადგილი აქვს გარკვეულ თვისობრივ და რაოდენობრივ განსხვავებას. თუკი 100 მ სიმაღლეზე 9-დან 12 სთ-მდე აეროზოლის კონცენტრაცია იზრდება 5-10 მკგ/მ<sup>3</sup>-ით, 15-დან 18 სთ-მდე დროის ინტერვალში კონცენტრაციის ზრდა არ აღემატება 5 მკგ/მ<sup>3</sup>.

ნახ. 8 ზე ნაჩვენებია ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში მოდელირებით მიღებული PM2.5-ის კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილება ქალაქის ცენტრალურ ნაწილში გამავალ ზონალურ კვეთაში.



ნახ. 8. PM2.5 -ის კონცენტრაციების (მკგ/მ<sup>3</sup>) განაწილება ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში ქალაქის ცენტრში გამავალ პარალელის გასწვრივ არსებულ ვერტიკალურ კვეთაში.

ნახ. 8-დან ჩანს, რომ ატმოსფერულ ჰაერში PM2.5 გავრცელება მიმდინარეობს როგორც ტურბულენტური დიფუზიის ასევე ადვექციური და კონვექციური პროცესების შედეგად. ამ პროცესების როლის მნიშვნელობა სხვადასხვაა დროის სხვადასხვა მომენტებში. დილის

9 სთ-თვის მნიშვნელოვანია კონვექციური პროცესის გავლენა აეროზოლის გავრცელებაზე ვერტიკალური კვეთის ცენტრალურ ნაწილში. 12 სთ და 18 სთ-ზე ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის ქვედა 40-50 მ სისქის ფენაში აეროზოლის გავრცელებაში აქტიური როლს თამაშობენ ტურბულენტური და ადვექციური პროცესები.

## დასკვნა

რიცხვითი მოდელირებით გამოკვლეულია ქ. ქუთაისის ტერიტორიაზე ავტოტრანსპორტის მიერ წარმოშობილი PM<sub>2.5</sub>-ის სივრცული განაწილებისა და დროში ცვლილების თავისებურება ზამთრის სეზონში მიწისპირა შტილის და თავისუფალ ატმოსფეროში დასავლეთის ფონური ქარის დროს. გამოთვლებით მიღებულია, რომ ზამთრის სეზონში მეზომასშტაბის რეგიონის რელიეფის ურთიერთქმედება ფონურ დასავლეთის ქართან წარმოშობს მეზომასშტაბის ქარის სიჩქარის ციკლონურ ცირკულაციას. ფორმირებული დინამიკური და თერმობარული ველები ახდენენ გავლენას ატმოსფეროში ავტოტრანსპორტის მოძრაობის შედეგად გაფრქვეული აეროზოლის სივრცულ განაწილებაზე. მოდელირების შედეგად მიღებულია PM<sub>2.5</sub>-ის კონცენტრაციის სივრცული განაწილების სურათები, განსაზღვრულია კონცენტრაციის დროში ცვლილების ხასიათი, როგორც ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში ასევე სასაზღვრო ფენაში. ნაჩვენებია, რომ კონცენტრაციის ვერტიკალური განაწილება და დროში ცვლილება დამოკიდებულია როგორც აეროზოლის გაფრქვევის სიჩქარეზე და ავტოტრანსპორტის მოძრაობის ინტენსივობაზე, ასევე ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის კინემატიკაზე და ქვეფენილ ზედაპირზე თერმული რეჟიმის დღეღამური ცვლილებით ფორმირებულ ლოკალურ ცირკულაციურ სისტემაზე. განსაზღვრულია ქალაქის და მიმდებარე ტერიტორიებზე მაღალი და საშუალო დაბინძურების დონეები და მათი მდებარეობის ცვლილება დღე-ღამის განმავლობაში.

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

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Hong H., Choi H., Jeon H., Kim Y., Jae-Bum Lee, Park C. H., Kim H. S. An air pollutants prediction method integrating numerical models and artificial intelligence models targeting the area around Busan port in Korea. *Atmosphere*, 13(9), 2022, 1462; <https://doi.org/10.3390/atmos13091462>.
2. Udristoiu M., Mghouchi Y., Yildizhan H. Prediction, modelling, and forecasting of PM and AQI using hybrid machine learning. *Journal of Cleaner Production*, Volume 421, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138496> Get rights and content.
3. Draper E., Whyatt J., Taylor R., Metcalfe S. Estimating background concentrations of PM<sub>2.5</sub> for urban air quality modelling in a data poor environment. *Atmospheric Environment*, Volume 314, 2023, 120107. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.120107> Get rights and content. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-91253-9>.
4. Chae S., Shin J., Kwon S., Lee S., Kang S., Lee D. PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> real-time prediction models using an interpolated convolutional neural network. *Scientific Reports*, volume 11, 11952, 2021. <https://www.nature.com/articles/s41598-021-91253-9>.
5. Deters J., Zalakeviciute R., Gonzalez M., Rybarczyk Y. Modeling PM<sub>2.5</sub> urban pollution using machine learning and selected meteorological parameters. *machine intelligence in signal sensing, processing, and recognition*. 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/5106045>.



6. World Health Organization. Regional Office for Europe. Review of evidence on health aspects of air-REVIHAAP Project. 2022. First result. <https://media.xpair.com › pdf › REVIHAAP>
7. Mortality and burden of disease from ambient air pollution-WHO. 2020. [https://www.who.int/gho/phe/outdoor\\_air\\_pollution/burden/en/](https://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/burden/en/).
8. Integrated Science for Particulate Matter. EPA. United States Environmental Protector Agency, 2019, p. 1967. EPA/600/R-19/188. [www.epa.gov](http://www.epa.gov).
9. Agrawal G., Mohan D., Rahman H. Ambient air pollution in selected small cities in India: observed trends and future challenges. IATSS Research. 45, Issue 1, 2021, pp. 19-30. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2021.03.004>.
10. Kobza J., Geremek M., Dul L. Characteristics of air quality and sources affecting high levels of PM10 and PM2.5 in Poland, Upper Silesia urban area. Environmental Monitoring and Assessment. 190, Article number: 515, 2018.
11. Environmental pollution, 2021. [https://air.gov.ge/reports\\_page](https://air.gov.ge/reports_page)
12. World's most polluted cities (historical data 2017-2022). <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities>.
13. Amiranashvili, A. G., Kirkitadze, D. D., Kekenadze, E. N. Pandemic of Coronavirus COVID-19 and Air Pollution in Tbilisi in Spring 2020. Journals of Georgian Geophysical Society, 23(1), 2020. <https://doi.org/10.48614/ggs2320202654>.
14. ნ. გიგაური, ა. სურმავა, ვ. კუხალაშვილი, ლ. ინჭკირველი, ნ. ბეგლარაშვილი. ქ. ქუთაისის ატმოსფეროში PM2.5 და PM10-ის გავრცელების გამოკვლევა ექსპერიმენტული დაკვირვებებით. სტუ-ის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის სამეცნიერო რეფერირებადი შრომათა კრებული, ტ.135, 2024, გვ. 82-87. [Doi.org/10.36073/1512-0902-2024-135-82-87](https://doi.org/10.36073/1512-0902-2024-135-82-87).
15. Surmava A., Intskirveli L., Kordzakhia G. Numerical modeling of dust propagation in the atmosphere of a city with complex terrain. The case of background eastern light air. Journal of Applied Mathematics and Physics, 08(07), 2020, pp. 1222-1228. <https://doi.org/10.4236/jamp.2020.87092>.
16. Surmava A., Intskirveli L., Kukhalashvili V. numerical modeling of the transborder, regional and local diffusion of the dust in Georgian atmosphere. Publishing House, Technical University, Tbilisi, Georgia. ISBN 978-9941-28-810-4, 2021, p.139. <http://www.gtu.ge> (in Georgian).
17. სურმავა ა., ინჭკირველი ლ., გიგაური ნ. PM2.5 და PM 10 მიკროაეროზოლი ქ. თბილისის ატმოსფეროში. თბილისი, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის გამომცემლობა, 2021, 94 გვ.
18. Gigauri N., Intskirveli L., Surmava A., Kukhalashvili V. The results of Kutaisi city atmospheric air pollution with PM particles. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, vol. 18, no. 3, 2024, pp. 90-96.

**ქ. ქუთაისის ჰაერის PM2.5-ით დაბინძურების სიმულაცია მიწისპირა შტილისა და თავისუფალ ატმოსფეროში ბაროკლინური დასავლეთის ქარის შემთხვევაში**

**სურმავა ა., გიგაური ნ., კუხალაშვილი ვ., ინჭკირველი ლ., სესაძე ვ.**

**რეზიუმე**

შეფასებულია ავტოტრანსპორტის მიერ გაფრქვეული მიკროაეროზოლის (PM2.5) გავრცელება ქ. ქუთაისის ჰაერში ზამთარში ფონური შტილური მეტეოროლოგიური პირობების დროს. გამოთვლები ჩატარებულია კავკასიაში მეზო მასშტაბის ატმოსფერული პროცესების სამგანზომილებიანი (3D) მოდელისა და ატმოსფეროში პასიური დამაბინძურებელი მინარევების გავრცელების განტოლების ერთობლივი ინტეგრირებით. მიღებული მონაცემების ბაზაზე აგებულია ქალაქის სხვადასხვა პუნქტში PM2.5-ის კონცენტრაციის მნიშვნელობების დროში ცვლილების გრაფიკები. აღმოჩნდა, რომ ქალაქის ატმოსფეროში PM2.5-ის მიწის დონეზე კონცენტრაცია მნიშვნელოვნად მაღალია დილის 7-დან 9 საათამდე და საღამოს 8-დან 9 საათამდე. აგებულია PM2.5-ის სივრცითი განაწილების იზოხაზები ატმოსფეროს ზედაპირულ და სასაზღვრო ფენებში. ნაჩვენებია, რომ ქუთაისისა და მიმდებარე ტერიტორიის რელიეფი განსაზღვრავს ქარის სიჩქარის ციკლონური მორევების

წარმოქმნას ხმელეთზე მიღებულია, რომ აეროზოლის გავრცელების პროცესი დამოკიდებულია დინამიურ ველებზე, ტერიტორიის ოროგრაფიასა და ზედაპირული ფენის თერმულ რეჟიმზე. განისაზღვრა ქალაქსა და მიმდებარე ტერიტორიებზე ჰაერის დაბინძურების მაღალი და საშუალო დონეები, ასევე მათი მდებარეობის ცვლილებები დღის განმავლობაში.

**საკვანძო სიტყვები.** PM2.5, ატმოსფერო, დაბინძურება, რიცხვითი მოდელირება.

## **MODELING OF AIR POLLUTION IN C. KUTAISI PM2.5 UNDER CALM CONDITIONS ON LAND AND BAROCLINIC WESTERLY WINDS IN THE FREE ATMOSPHERE**

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

### **Abstract**

An assessment was made of the spread of microaerosol (PM2.5) emitted by motor vehicles in the air of Kutaisi in the winter period under background calm meteorological conditions. The calculations were performed by jointly integrating a three-dimensional (3D) model of mesoscale atmospheric processes in the Caucasus and the equation for the distribution of passive pollutants. Based on the data obtained, graphs of changes in PM2.5 concentration values over time at various points in the city were constructed. It was found that in the city's atmosphere, ground-level concentrations of PM2.5 are significantly higher between 7 and 9 a.m. and between 8 and 9 p.m. Isolines of spatial distribution of PM2.5 in the surface and boundary layers of the atmosphere are constructed. It is shown that the relief of Kutaisi and the adjacent territory determines the formation of a cyclonic vortex of wind speed on land. It is accepted that the process of aerosol propagation depends on dynamic fields, the orography of the territory and the thermal regime of the surface layer. High and medium levels of air pollution in the city and surrounding areas, as well as changes in their location during the day, were determined.

**Key words:** PM2.5, atmosphere, pollution, numerical modelling.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА Г. КУТАИСИ PM2.5 В УСЛОВИЯХ ШТИЛЯ НА СУШЕ И БАРОКЛИННЫХ ЗАПАДНЫХ ВЕТРОВ В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ**

**Сурмава А., Гигаури Н., Кухалашвили В., Инцкирвели Л., Сесадзе В.**

### **Реферат**

Проведена оценка распространения микроаэрозоля (PM2.5), выбрасываемых автотранспортом, в воздухе г. Кутаиси в зимний период при фоновых спокойных метеорологических условиях. Расчеты выполнены путем совместной интеграции трехмерной (3D) модели мезомасштабных атмосферных процессов на Кавказе и уравнения распределения пассивных загрязняющих веществ. На основании полученных данных построены графики изменения значений концентрации PM2.5 во времени в различных точках города. Получено, что в атмосфере города приземные концентрации PM2.5 значительно выше в период с 7 до 9 часов утра и с 20 до 21 часа вечера. Построены изолинии пространственного распределения PM2.5 в приземных и пограничных слоях атмосферы. Показано, что рельеф Кутаиси и прилегающей территории определяет формирование циклонического вихря скорости ветра на суше. Принято, что процесс распространения аэрозоля зависит от динамических полей, орографии территории и термического режима приземного слоя. Определены высокие и средние уровни загрязнения атмосферы в городе и прилегающих территориях, а также изменение их расположения в течение суток.

**Ключевые слова:** PM2.5, атмосфера, загрязнение, численное моделирование.

**თსუ-ს მ. ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ატმოსფეროს  
ფიზიკის სექტორის მონაწილეობით 2024 წელს გამოქვეყნებული  
სამეცნიერო ნაშრომების მოკლე მიმოხილვა**

**ამირანაშვილი ა., ბლიაძე თ., კერესელიძე ზ., ჩიხლაძე ვ.**

*ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდია  
სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი  
avtandilamiranashvili@gmail.com*

თსუ, მ. ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტში ატმოსფეროს ფიზიკის დარგში ტრადიციულ კვლევებთან ერთად, როგორცაა ღრუბლების ფიზიკა და ატმოსფერულ პროცესებზე აქტიური ზემოქმედება (სეტყვა, ელჭექი, ნისლი და სხვა), ატმოსფერული აეროზოლების და ოზონის ფიზიკა, ატმოსფერული პროცესების და მათზე აქტიური ზემოქმედების ექსპერიმენტული ლაბორატორული მოდელირება, რადიოლოკაციური მეტეოროლოგია, ატმოსფეროს დაბინძურება, აგრეთვე ტარდებოდა და ტარდება სამუშაოები საქართველოს კლიმატის ცვლილების, ბუნებრივი კატასტროფების რისკის შეფასების, საქართველოს საკურორტო და ტურისტული ადგილების კლიმატური და ბიოკლიმატური პასპორტიზაციის, ადამიანის ჯანმრთელობაზე და ზოგადად ბიოსფეროზე სხვადასხვა მეტეო-გეოფიზიკური ფაქტორების ზემოქმედების შეფასების, სხვადასხვა გეოფიზიკური ველების კომპლექსური კვლევების დარგში.

2024 წ. სექტორში და სექტორის მონაწილეობით გამოქვეყნებული იყო 43 სამეცნიერო ნაშრომი, მათ შორის 31 საქართველოში [1-31] და 12 საზღვარგარეთ [32-43].

თანამშრომლობითი ნამუშევრები გამოქვეყნებულია შემდეგ ადგილობრივ და უცხოურ ორგანიზაციებთან: ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, სტუ [1-7, 12, 13, 15, 18-20, 22, 28, 29, 32-38, 41-43]; ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი [30,32,40]; საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი [18]; ვახუშტი ბაგრატიონის სახ. გეოგრაფიის ინსტიტუტი, თსუ [3,15,26]; გარემოს ეროვნული სააგენტო [7,12,22,35,36]; სამედიცინო უნივერსიტეტი [10,11]; საქართველოს ოკუპირებული ტერიტორიებიდან დევნილთა, შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის სამინისტრო [10,11]; ა. ჯანელიძის სახ. გეოლოგიის ინსტიტუტი, თსუ [4,16,17]; საქართველოს ფიზიკური აღზრდისა და სპორტის სახელმწიფო სასწავლო უნივერსიტეტი [10,11]; სამხედრო სამეცნიერო-ტექნიკური ცენტრი “დელტა” [30,40]; ფრაიბურგის უნივერსიტეტი, გერმანია [7,12]; გეო-ჰიდროლოგიური დაცვის კვლევითი ინსტიტუტი, პერუჯა, იტალია [16]; პლაზმის მეცნიერებისა და ტექნოლოგიის ინსტიტუტი, ბარი, იტალია [27]; კოსმოსური და პლაზმის ფიზიკა, სტოკჰოლმი, შვედეთი [27]; ბუნებრივი რესურსებისა და სიცოცხლის შემსწავლელი მეცნიერებების უნივერსიტეტი, მთის რისკების ინჟინერიის ინსტიტუტი, ვენა, ავსტრია

[35,36]. ქვემოთ მოყვანილი ნაშრომები თემატურად რამდენიმე ჯგუფად შეიძლება დაიყოს, კერძოდ: სეტყვის პრობლემებთან დაკავშირებული (1, 5, 30, 33, 37, 40, 41, 42); ატმოსფერული ნაკადები (6, 19, 26, 35, 43); ნალექები და მეწყერები (4,15, 16, 17, 18, 21, 36); ამინდი, კლიმატი, გლობალური დათბობა, დემოგრაფია (2, 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 22, 27, 32); გეოფიზიკის ინსტიტუტის და ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის საერთო და ატმოსფეროს ფიზიკის სექტორის სამეცნიერო აქტივობები (13, 20, 28, 29, 31); თოვლის ზვავები, მიწისძვრები, რადონის მონიტორინგი, მყინვარები (23, 24, 25, 34, 38 ).

ქვემოთ მოყვანილია აღნიშნული ნაშრომების მოკლე ანოტაციები.

[1]. სტატიაში წარმოდგენილია საქართველოს 30 მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემების სტატისტიკური ანალიზის ზოგიერთი შედეგი 1941-2021 წლებში წლის თბილ ნახევარში სეტყვიან დღეთა რიცხვის შესახებ. კერძოდ, მიღებულია შემდეგი შედეგები: მოყვანილია მონაცემები სეტყვიან დღეთა საშუალო და მაქსიმალური მნიშვნელობების შესახებ 1941-2021წლებში, 1941-1980 (პირველი პერიოდი) და 1981-2021 (მეორე პერიოდი); შესწავლილ იქნა კორელაციები საკვლევ პარამეტრებს შორის დროის აღნიშნულ პერიოდებში; დადგინდა, რომ მეორე პერიოდში, პირველთან შედარებით, 21 სადგურზე შეინიშნება სეტყვიან დღეთა საშუალო რიცხვის შემცირება, 8 სადგურზე ეს რიცხვი არ იცვლება და მხოლოდ ერთ სადგურზე შეინიშნება სეტყვიან დღეთა საშუალო რიცხვის მატება; შესწავლილი იქნა სეტყვიან დღეთა საშუალო და მაქსიმალური რიცხვის დამოკიდებულება ადგილის სიმაღლესთან მიმართებაში 1500 მ-ზე ნაკლებ სიმაღლეზე მდებარე 24 მეტეოსადგურისთვის საკვლევ პერიოდის განმავლობაში; დადგინდა, რომ მეორე პერიოდში, პირველთან შედარებით, სუსტდება.

[2]. განხილულია შემოდგომის პირველი წაყინვების სტატისტიკური მონაცემები, რომელიც მოიცავს 2007- 2022 წლებს. დამუშავებულია საქართველოს ტერიტორიაზე განაწილებული 25 მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემები წაყინვების შესახებ. საკვლევ 16 წლიანი პერიოდისთვის დადგენილია ყველაზე ადრე და ყველაზე გვიან დაფიქსირებული შემოდგომის პირველი წაყინვები.

[3]. ამინდი და კლიმატი არის ორი ძირითადი ფაქტორი, რომელიც განსაზღვრავს ტერიტორიის ბიოკლიმატურ რესურსებს და, შესაბამისად, მის ვარგისიანობის ხარისხს საკურორტო და ტურისტული ინდუსტრიის ორგანიზებისა და განვითარებისთვის. ადრეული კვლევები ტურიზმისთვის იყენებდნენ სხვადასხვა კლიმატის ინდექსებს. ბოლო წლებში პოპულარობას იძენს ეგრეთ წოდებული Holiday Climate Index (დასვენების კლიმატის ინდექსი – HCI), რომელიც წარმოადგენს ხუთი კლიმატური ელემენტის კომბინაციას (ჰაერის მაქსიმალური ტემპერატურა, ფარდობითი ტენიანობა, ღრუბლის საფარი, ნალექი და ქარი). HCI-ს მნიშვნელობების განსაზღვრა საქართველოს სხვადასხვა ლოკაციებზე 2020 წელს დაიწყო (თბილისი, კახეთის რეგიონი, 13 მაღალმთიანი წერტილი და სხვ.). ამ ნაშრომში საქართველოს ქვემო ქართლის რეგიონის 8 დასახლებულ პუნქტში (ბოლნისი, გარდაბანი, დმანისი, თეთრი წყარო, მარნეული, წალკა, მანგლისი, რუსთავი) დასვენების კლიმატის ინდექსის (HCI) გრძელვადიანი საშუალო მნიშვნელობების მონაცემების ანალიზია წარმოდგენილი. შესწავლილი იყო HCI-ს მნიშვნელობების წლიური განაწილება; კორელაციები ცალკეულ სადგურებს შორის განისაზღვრა საშუალო თვიური და სეზონური HCI-ს მნიშვნელობების საფუძველზე; აღმოჩნდა, რომ ქვემო ქართლის ყველა წერტილისთვის HCI-ს საშუალო თვიური მნიშვნელობების წლიური ცვალებადობის რეგ-

რესიის განტოლებებს აქვს მეცხრე რიგის პოლინომის ფორმა; განისაზღვრა საშუალო თვიური და სეზონური HCl-ს მნიშვნელობების კატეგორიები ქვემო ქართლის მითითებულ დასახლებებში; შედარება განხორციელდა ქვემო ქართლის 8 პუნქტში HCl-ს საშუალო თვიური მნიშვნელობების სტატისტიკური მახასიათებლების მითითებულ მახასიათებლებთან ბოლნისში, გარდაბანში, მარნეულში, რუსთავში (სადგურების სიმაღლე ზღვის დონიდან  $H < 1$  კმ) და დმანისში, თეთრი წყაროში, წალკა, მანგლისი ( $H \parallel 1$  კმ) და ჩატარდა HCl კატეგორიების განმეორებადობის შესაბამისი ანალიზი. ნაჩვენებია, რომ ქვემო ქართლში ბიოკლიმატური პირობები ხელსაყრელია საკურორტო და ტურისტული ინდუსტრიის განვითარებისთვის წლის ყველა თვეში. მომზადდა ქვემო ქართლის ტერიტორიაზე საშუალო თვიური HCl-ს კატეგორიების განაწილების ვიზუალური რუკა.

[4]. წარმოდგენილია საქართველოს 39 მეტეოროლოგიური სადგურების მონაცემების რეპრეზენტულობა ამ სადგურების ირგვლივ ნალექების თვიური რაოდენობის მიხედვით კვლევის შედეგების გათვალისწინებით. დაკვირვების პერიოდი 1936 – 2015 წწ. კერძოდ, დადგინდა რომ ამ სადგურების რეპრეზენტულობა თვიური ნალექების მიხედვით მერყეობს 14 კმ-დან (ახალქალაქი, იანვარი) 90 კმ-მდე (ახალციხე, ოქტომბერი).

[5]. ნაშრომში წარმოდგენილია ბოლნისსა და წალკაში სეტყვიან დღეთა რაოდენობის წლის თბილ ნახევარში (HD) 1941-2021 წლებში ცვალებადობის მახასიათებლების შესწავლის შედეგები და მათი მოსალოდნელი ცვლილება 2045 წლამდე. აღნიშნულ პუნქტებში შესწავლილი იქნა სეტყვიან დღეთა რაოდენობის დროის სერიების სტაბილურობა HD-ს დროსთან კორელაციების განსაზღვრით (წრფივი კორელაცია, კენდალის და სპირმანის რანგის კორელაცია). განისაზღვრა ავტოკორელაციის დონე HD-ს დროის რიგებში ბოლნისსა და წალკაში. შესწავლილია ამ დროის რიგების პერიოდულობა. განხორციელდა ბოლნისსა და წალკაში სეტყვიან დღეთა რაოდენობის ინტერვალური პროგნოზირება 2045 წლამდე HD-ს დროის რიგებში პერიოდულობის გათვალისწინებით.

[6]. წარმოდგენილია 2024 წლის 25 ივნისს კახეთში ტორნადოს გავრცელების არეალის ექსპედიციური კვლევის ზოგიერთი შედეგი. ალავერდის საკათედრო ტაძარში მეცნიერთა ჯგუფს შეხვედრა ჰქონდა მის მაღალყოვლადუსამღვდელესობასთან აბბა ალავერდელ მიტროპოლიტ – დავითთან. დაწვრილებით იქნა განხილული ალავერდის ტაძრის დაზიანებები. მიღებული იქნა მნიშვნელოვანი ინფორმაცია ამ საკითხთან დაკავშირებით. შემდგომი კვლევა გაგრძელდა ტაძრის მიმდებარე ტერიტორიაზე და სოფლების ქვემო და ზემო ალვანის მიმართულებით. დადგენილი იქნა ქარბორბალას წარმოშობის სავარაუდო ადგილი, გავრცელების ტრაექტორია და არეალი. შესწავლილი იქნა გავრცელების ტრაექტორიაზე ქარბორბალათი გამოწვეული დაზიანებები. უახლოეს მომავალში იგეგმება ამ ბუნებრივი ფენომენის უფრო დეტალური შესწავლა.

[7]. წარმოდგენილია წალკისთვის (საქართველო) დასვენების კლიმატის ინდექსის (HCI) მრავალწლიანი საშუალო თვიური მნიშვნელობების მონაცემები. ჩატარდა ყოველთვიური, სეზონური და წლიური HCl-ის მნიშვნელობების დეტალური ანალიზი 60 წლის განმავლობაში (1956-2015). შესწავლილია HCl-ის ცვალებადობა 1986-2015 წლებში 1956-1985 წლებთან შედარებით და შესწავლილი იქნა HCl-ის ტენდენციები 1956-2015 წლებში.

[8]. წარმოდგენილია 2012-2023 წლებში საქართველოში და მის რეგიონებში სახანძრო განგაშის რაოდენობის (FAC) ყოველკვირეული სტატისტიკური ანალიზის შედეგები. კერძოდ, მიღებული იქნა შემდეგი შედეგები. ყველაზე მაღალი საშუალო წლიური FAC-ის

მნიშვნელობა ფიქსირდება კახეთში (858), ყველაზე დაბალი – თბილისში (14). მთლიანობაში საქართველოში საშუალო წლიური FAC-ის სიდიდე არის 2739. შესწავლილია ყოველკვირეული FAC-ის მნიშვნელობების შიდაწლიური განაწილება საქართველოსა და მისი რეგიონებისთვის. განისაზღვრა წრფივი კორელაციური ურთიერთობის ხარისხი საქართველოს რეგიონებს შორის ხანძარსაწინააღმდეგო სიგნალიზაციის ყოველკვირეულ რაოდენობაზე.

[9]. წარმოდგენილია PM<sub>2.5</sub> და PM<sub>10</sub> ნაწილაკების საშუალო თვიური და წლიური კონცენტრაციების სტატისტიკური ანალიზის შედეგები თბილისში სამ ლოკაციაზე (ყაზბეგის გამზ., წერეთლის გამზ. და ვარკეთილი) 2017-2023 წლებში. ჩატარდა ჰაერის დაბინძურების მითითებულ მახასიათებლებს შორის კორელაციის ანალიზი. შესწავლილი იქნა PM<sub>2.5</sub> და PM<sub>10</sub> საშუალო წლიური მნიშვნელობების ცვალებადობა დაკვირვების საკვლევი პერიოდში. კერძოდ, დადგინდა, რომ 2020-2021 წლებში აეროზოლების საშუალო წლიური კონცენტრაციის მნიშვნელოვანი შემცირების შემდეგ COVID-19-ის პანდემიასთან დაკავშირებული მანქანების გადაადგილების შეზღუდვების გამო, ბოლო წლებში დაფიქსირდა ატმოსფეროს აეროზოლებით დაბინძურების ზრდა. ამრიგად, 2023 წელს წერეთლის გამზირზე მდებარე მონიტორინგის სადგურმა ჰაერში PM<sub>10</sub> შემცველობის რეკორდული ზრდა დააფიქსირა. ზოგადად, დაკვირვების მთელი პერიოდის განმავლობაში PM<sub>2.5</sub> და PM<sub>10</sub> საშუალო წლიური კონცენტრაცია იყო დასაშვებ ზღვარზე მეტი.

[10]. ნაშრომში წარმოდგენილია შობადობის, სიკვდილიანობის და მოსახლეობის ზრდის ცვალებადობის სტატისტიკური ანალიზის შედეგები 1994-2023 წლებში. ნაჩვენებია COVID-19 პანდემიის როლი დემოგრაფიული მდგომარეობის გაუარესებაში მისი არსებობის პერიოდში (2020-2021) და პოსტCOVID პერიოდში (2022-2023).

[11]. ნაშრომში წარმოდგენილია 2018-2023 წლებში ბათუმში Missenard-ის მიხედვით ჰაერის ეფექტური ტემპერატურის დღიური საშუალო და მაქსიმალური მნიშვნელობების სტატისტიკური ანალიზის შედეგები.

[12]. 1956-2015 წლებში წალკაში (საქართველო) დასვენების კლიმატის ინდექსის (HCI) ყოველთვიური მნიშვნელობების ცვალებადობის შესახებ ადრე მოპოვებულ ბუნებრივ მონაცემებზე დაყრდნობით, განხორციელდა HCI-ის ინტერვალური პროგნოზი 2026-2035 წლებში ექსპონენციალური დაგლუვების AAA ვერსიის გამოყენებით (ETS) ალგორითმი.

[13]. წარმოდგენილია თსუ, მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტისა და სტუ, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის ერთობლივი სამუშაოს მოკლე მიმოხილვა ბოლო ხუთი წლის განმავლობაში.

[14]. სტატიაში წარმოდგენილია თბილისში ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურის (T<sub>თ</sub>) ცვალებადობის ანალიზის შედეგები 1844-2023 წლებში კლიმატის ცვლილების ფონზე. ასევე, გაკეთებულია ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურის ანომალიების შედარება თბილისში (ΔT<sub>თ</sub>) და 24°-64° ჩრდილოეთ გრძედის (ΔT<sub>Z</sub>) ზონაში 1884-2023 წლებში. მიღებულია შესწავლილი პარამეტრების ტენდენციები (T<sub>თ</sub> და ΔT<sub>თ</sub> მეოთხე ხარისხის მრავალწევრია, ΔT<sub>Z</sub> არის მეშვიდე ხარისხის მრავალწევრი). აღნიშნულია, რომ შესწავლილ ლოკაციებზე ბოლო ათწლეულის განმავლობაში დაფიქსირდა ჰაერის ტემპერატურის მნიშვნელოვანი მატება.

[15]. განხორციელდა თბილისში ნალექების რაოდენობით ყოველთვიური და სეზონური (წელი, ცივი და თბილი სეზონები) დაკვირვებების დროის სერიების სტატისტი-

კური ანალიზი 1844 წლიდან 2023 წლამდე. ნალექის თვიური და სეზონური საშუალო მნიშვნელობების შედარება განხორციელდა ორ ოთხმოცდაათწლიან და ოცდაათწლიან პერიოდზე (1844-1933 და 1934-2023, ასევე 1844-1873 და 1994-2023 წლებში). ამ დაკვირვების დროის სერიების თავსებადობის შესაფასებლად ჩატარდა მათ შორის წრფივი კორელაციის ანალიზი განსაზღვრული დროის პერიოდებისთვის.

[16]. სტატიაში, განხილულია 2024 წლის 7 თებერვალს ნერგეთში (იმერეთი, საქართველო) მეწყერის გამომწვევი ნალექის რეჟიმის ანალიზის შედეგები, (დღე მეწყერით და 3, 5, 7, 10, 20 და 30 დღით ადრე, მეტეოროლოგიური სადგურების ქუთაისისა და ზესტაფონის მონაცემებზე დაყრდნობით). აღნიშნული მონაცემები იმერეთში მეწყერული 75 მეწყერული შემთხვევის მსგავს კერძოდ, აღმოჩნდა, რომ ძლიერი ნალექის რეჟიმი, რომელმაც ნერგეთში მეწყერი გამოიწვია, საკმაოდ იშვიათად დაფიქსირდა იმერეთის რეგიონში – 75-დან 12%-ში მეწყერის ნალექის რაოდენობის გამო და 30 დღის განმავლობაში ნალექების დაგროვებული რაოდენობის შემთხვევების მხოლოდ 8%-ში. ძირითადი სიტყვები: მეწყერი, ატმოსფერული ნალექი, ნალექი, იმერეთი, საქართველო.

[17]. სტატიაში, შედარებულია სატელიტურ (PS) და მიწისპირა (PM) მონაცემები ნახევარ წლიური და წლიური ნალექების შესახებ 26 მეტეოროლოგიურ სადგურზე საქართველოში, 2001-2020 წლებში. კერძოდ, აღმოჩნდა, რომ PS-სა და PM-ს შორის ურთიერთობა დამაკმაყოფილებლად არის აღწერილი წრფივი განტოლებით. ძირითადი სიტყვები: ატმოსფერული ნალექიანობა, ადგილზე დაფუძნებული და სატელიტური გაზომვები.

[18]. *ნაშრომში წარმოდგენილია 2024 წლის 7 ივლისს თბილისში უხვი ნალექის ანალიზის ზოგიერთი შედეგი მიწის დონეზე და სატელიტური გაზომვების საფუძველზე.*

[19]. სტატიაში წარმოდგენილია ატმოსფერული სტაბილურობის დონის და ჭექა-ქუხილის პროცესის მახასიათებლების შესწავლის შედეგები, რამაც ხელი შეუწყო ტორნადოს წარმოქმნას კახეთში 2024 წლის 25 ივნისს.

[20]. *ნაშრომში წარმოდგენილია ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის დიდ საღრუბლო კამერაში ატმოსფეროს ფიზიკის მიმართულებით ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევების მოკლე მიმოხილვა. წარმოდგენილია ამ კვლევების შემდგომი განვითარების პერსპექტიული გეგმები.*

[21]. მოცემულია ინფორმაცია ე.წ. ირიბი წვიმების შესახებ, განმარტებულია მისი მნიშვნელობა მშენებლობასა და არქიტექტურაში და აგრეთვე წარმოდგენილია თსუ-ს გეოფიზიკის ინსტიტუტის თერმობაროკამერაზე ჩატარებული ირიბი წვიმების მარეგისტრირებელი დანადგარის მაკეტის გამოცდებისთვის შექმნილი სტენდი.

[22]. გასული საუკუნის ბოლო წლებიდან დაწყებულმა კლიმატის გლობალურმა დათბობამ კაცობრიობას ძალიან ბევრი სიძნელე და საფრთხე შეუქმნა. როგორც სამამულო, ისე საზღვარგარეთელი მეცნიერების მთელი რიგი გამოკვლევების შედეგად დადგინდა, რომ მიმდინარე სტიქიური კატასტროფები დაკავშირებულია უშუალოდ ამინდისა და კლიმატის ცვლილებასთან. დედამიწის ზედაპირზე მიმდინარე პროცესების ჩამოყალიბებაში, როგორცაა მცენარეთა საფარის და ცხოველთა სამყაროს გეოგრაფიული განაწილება, ბიოლოგიური პროცესების ინტენსივობა და ხასიათი უშუალოდ მონაწილეობს ამინდი და კლიმატი. თუმცა ამავე დროს უნდა აღინიშნოს, რომ ადამიანის ყოველდღიური საქმიანობა, როგორცაა სოფლის მეურნეობა, ტურიზმი და საკურორტო ინდუსტრია, სამშენებ-

ლო საქმე და ენერგეტიკული რესურსების მართვა უშუალოდაა დაკავშირებული მოცემული ადგილის კლიმატურ პირობებთან. ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ კლიმატი ხასიათდება დუალიზმით, ორბუნებოვანია და როგორც ბუნებრივ, ასევე სოციალურ-ეკონომიკურ ფაქტორსაც წარმოადგენს. ამდენად კლიმატის კვლევა ყოველთვის იყო მნიშვნელოვანი და განსაკუთრებით კი აქტუალური გახდა მისი შესწავლა გასული საუკუნის II ნახევრიდან. ეს განპირობებულია იმით, რომ კლიმატის გლობალური დათბობის ფონზე თავი იჩინა რეგიონულმა კლიმატურმა ვარიაციებმა, რამაც კაცობრიობას უამრავი პრობლემა შეუქმნა.

[23]. მიწისძვრის წინამორბედების მონიტორინგის დროს, დამატებითი ინფორმაციის სახით ელექტრომაგნიტური ველების ანალიზის ვარიაციებით, შესაძლებელია მიწისძვრის წინამორბედების განსაზღვრა, რაც ძალიან აქტუალური და მნიშვნელოვანი პრობლემაა. გეომაგნიტური ველის ცვალებადობასა და სეისმურ აქტივობას შორის კავშირი მიწისძვრის პროგნოზირების ფუნდამენტური პრობლემის არსებითი ელემენტია. გეოდინამიკური პროცესების არაცალსახობის თვალსაზრისით საქართველო მიეკუთვნება ერთ-ერთ განსაკუთრებულად რთულ რეგიონს. მაკრო სტრუქტურული ფაქტორი აქ არის არაბეთისა და ევრაზიის ტექტონიკური ფილების კონტაქტი, რასაც ემატება ლოკალურ გეოლოგიური სტრუქტურული მრავალფეროვნება, თუმცა ყველა ეს ადგილი გამოირჩევა მაღალი სეისმურობით. სტატიაში წარმოდგენილია სეისმური პროცესების მომდინარეობის ისეთ ინდიკატორებზე დაკვირვება როგორცაა: გეომაგნიტური ველი.

[24]. SRNSFG FN-19-22022 პროექტის „რადონის აგეგმვა და რადონის რისკის შეფასება საქართველოში“ ფარგლებში, საქართველოს რიგ გეოგრაფიულ ზონებში ჩატარდა სავსე სამუშაოები როგორც წყალსა და ნიადაგში რადონის ( $^{222}\text{Rn}$ ) განაწილების რაოდენობრივად განსაზღვრის მიზნით, ასევე, რადონის კონცენტრაციების განმსაზღვრელი გეოლოგიური ფაქტორების შესაფასებლად. ადგილზე რადონის კონცენტრაცია გაზომილი იქნა ნიადაგის აირში (68 სინჯის აღების წერტილი) და სხვადასხვა წყალპუნქტებში (ქები და წყაროები, სულ 75 წყალპუნქტი, 66- წყარო, 9 ჭაბურღილი) AlphaGUARD PQ2000 PRO (Saphymo GmbH) რადონის მონიტორის გამოყენებით. რადონის კონცენტრაცია მერყეობდა 0,12-დან 73 Bq/L წყალში და  $36,9 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ -მდე ნიადაგის აირში. ყველა სადამკვირვებლო ადგილი მონიშნული იყო GPS პოზიციით. მონაცემები დამუშავდა საბაზისო სტატისტიკური ანალიზით და წარმოდგენილ იქნა სხვადასხვა გრაფიკების მეშვეობით. შემდგომში, ქვემო ქართლის ტერიტორიაზე წყალსა და ნიადაგის გაზომილი რადონის განაწილების ვიზუალიზაციისათვის მოხდა სავსე მონაცემების აციფვრა და ინტეგრირება GIS სისტემაში.

[25]. *მყინვარები ყოველთვის პოტენციურ საფრთხეს წარმოადგენდნენ კავკასიის რეგიონში, სადაც მთის კანიონები საკმაოდ მჭიდროდ არის დასახლებული. გლობალურ კლიმატის ცვლილებასთან დაკავშირებულმა პროცესებმა, რომლებიც ყველგან ხდება, უკიდურესად გაამწვავა მყინვარული კატასტროფებისგან მოსახლეობის პრევენციის პრობლემა. მაგალითად, არსებობს სამწუხარო გამოცდილება, რომელიც დაკავშირებულია კოლკას მყინვარის ნგრევასთან, რამაც გამოიწვია გიგანტური გლაციალური ღვარცოფი 2002 წელს. ასეთი კატასტროფის კატეგორიაში უნდა შედიოდეს გლაციალური ღვარცოფის გენერირება ბუბას მყინვარიდან 9/3/2023, რამაც გამოიწვია ტრაგედია უამრავი მსხვერპლით კურორტ შოვში. ასეთი კატასტროფული მოვლენების განვითარების შესაძლო ადგილისა და დროის განსაზღვრას (მიწისძვრები, ვულკანური ამოფრქვევები, ფართომასშტაბიანი წყალ-*



დიდობები) აქვს საიმედოობის ძალიან დაბალი ხარისხი და პრობლემატურია, მიუხედავად სახმელეთო და კოსმოსური მონიტორინგის სამეცნიერო მეთოდების თანამედროვე დონისა. კერძოდ, აშკარაა საჭიროება კავკასიის მყინვარების ამჟამინდელი მდგომარეობის გრძელვადიანი მონიტორინგისა და ყოვლისმომცველი დიაგნოსტიკის, ყოველი ახალი გამოცდილების გათვალისწინებით. უნდა აღინიშნოს ინფორმაციის სიმცირე, რომელიც საშუალებას არ გვაძლევს ვიმსჯელოთ ბოლო ათწლეულების განმავლობაში ბუბას მყინვარზე მიმდინარე პროცესებზე. ამიტომ, ნაკლებად სავარაუდოა, რომ ვინმეს წარმოედგინა მდინარეების ბუბისწყლისა და ჯაანჯახის ხეობებზე მყინვარული ღვარცოფის გავრცელების ფართომასშტაბიანი ვირტუალური სურათი, ადექვატური იმისა, რაც სინამდვილეში აღმოჩნდა. ამავდროულად, თუ არსებობს დაკვირვების შედეგების საკმარისად სრული მონაცემთა ბაზა და მისი სწორი ანალიზი, ჰიდროდინამიკური მსგავსების პრინციპზე დაფუძნებული, შესაძლებელია, მაგალითად, მთის ნებისმიერ ხეობაში წყალდიდობის ან მყინვარული ნაკადის სავარაუდო პარამეტრების მოდელირება. კავკასიის რეგიონის შემთხვევაში, შეგიძლიათ გამოიყენოთ ზოგიერთი შედეგი, მიღებული ჯანკუათის და კოლკას მყინვარების რიცხვითი მოდელირების გამოყენებით. კერძოდ, ეს მოდელები საკმაოდ გამოსადეგია არა მხოლოდ სავარაუდო მიზეზების დასადგენად, არამედ ბუბას მყინვარზე ნგრევის შედეგების რეტროსპექტული ანალიზისათვის. პირველ რიგში ეს ეხება ჰეტეროგენულ ღვარცოფში ჰიდროდინამიკური ტალღების გავრცელების პროცესს. ამ მიზნით ასევე მნიშვნელოვანია სეისმური ხელსაწყოების ჩანაწერები, რომლებიც შეიცავს ინფორმაციას ბუბას მყინვარზე ნგრევის პროცესის შედეგად წარმოქმნილი აკუსტიკური ტალღების სიხშირის სპექტრის შესახებ. ბუბისწყლისა და ჭანჭახის ხეობებში შეიძლება არსებობდეს სხვადასხვა ტიპის ჰიდროდინამიკური ტალღები. ფრუდის მსგავსების რიცხვის მნიშვნელობების დამახასიათებელ დიაპაზონში ყველაზე სავარაუდოა უნდა ჩაითვალოს მორბენალი მგორავი ტალღების წარმოქმნა, რომელთა სიმაღლემ შეიძლება მიაღწიოს რამდენიმე მეტრს. მარტოხელა ტალღების (სოლიტონების) გამოჩენა, ასევე ე.წ. გრავიტაციული ტალღები ნაკლებად სავარაუდოა იყო, თუმცა მათი წარმოშობის შესაძლებლობა იმ ადგილებში, სადაც ადგილობრივი პირობები იყო შესაფერისი, არ არის გამორიცხებული. შოვის ხეობის ქვედა, ყველაზე ფართო მონაკვეთში, ე.წ. კოტეჯების ზონაში, ღვარცოფის მასის მოძრაობა მსგავსი იყო 2002 წელს მდინარე გენალდონის ხეობაში კოლკას მყინვარზე ჩამონგრევის შედეგად აღძრული მყინვარული ღვარცოფის მოძრაობისა. მიუხედავად დიდი განსხვავებისა ბუბას და კოლკას მყინვარებიდან ჩამოსული ღვარცოფების საწყის მოცულობებში, ბლანტპლასტიკური მასის გამონატანი, ტალღების სივრცითი მასშტაბისა და ამპლიტუდის გათვალისწინებით, მისი განაწილების ბოლო უბნებში შედარებითი აღმოჩნდა და ორივე შემთხვევაში 1-3 მეტრის სიმაღლემდე შემცირდა.

[26]. გლობალური ატმოსფერო შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ღია თერმოდინამიკური სისტემა, რომლის შიგნით მოქმედებენ სხვადასხვა შემამფოთებელი ფაქტორები. მაგალითად, წყნარ ატმოსფერულ პირობებშიც კი ოროგრაფია შეიძლება გახდეს დედამიწასა და ატმოსფეროს შორის სტაციონარული სითბური ბალანსის დარღვევის მიზეზი. საზოგადოდ, გრიგალური სტრუქტურების წარმოქმნა ნებისმიერ გაზობრივ თუ თხევად გარემოში სტოქასტიკურად დეტერმინირებულია. ეს ნიშნავს, რომ გრიგალის წარმოქმნის პროცესი, მნიშვნელოვან წილად, ალბათურია. ამიტომ, ატმოსფერული გრიგალური ველის მათემატიკური მოდელირების დროს რაციონალურია შემთხვევითი ფაქტორების გამო-

რიცხვა კონკრეტული ხელისშემწყობი პირობების გამოკვეთის გზით. მაგალითად, დედამიწის რელიეფის ძლიერი დანაწევრება ხელს უწყობს რეგიონალურ და ლოკალურ მასშტაბებში ჰაერის დინების ტურბულიზაციას. კერძოდ, სუსტი ინტენსივობის ატმოსფერული გრიგალების წარმოქმნის პროცესი მთიან ხეობებში ყოველთვის შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ლოკალური სტაბილურობის დარღვევა, რომლის მიზეზია განსხვავებული ოროგრაფიისა და ლანდშაფტების საზღვარზე შექმნილი ტემპერატურული ველის არაერთგვაროვნება. ასევე, გრიგალების გენერაცია და მათი დისიპაციის პროცესი ატმოსფეროში ყოველთვის შეიძლება განვიხილოთ, როგორც გარკვეულ სივრცულ მასშტაბებში გარემოს სტაბილურობის დარღვევა, რაც გამოიხატება მისი თერმოდინამიკური პარამეტრების შემფოთებაში.

[27]. გეომაგნიტურ ქარიშხლებს შეუძლიათ წყობიდან გამოიყვანონ ტექნოლოგიური სისტემები და გავლენა მოახდინონ ადამიანის ჯანმრთელობაზე. ამ კვლევაში განვიხილეთ მზე-დედამიწის ურთიერთქმედების დინამიკა დუშეთის ობსერვატორიის და გლობალური გეომაგნიტური ინდექსების გამოყენებით. ჩვენ გამოვიკვლიეთ ურთიერთობა პლანეტათაშორის მაგნიტურ ველს (IMF), მზის ლაქების რიცხვებსა და გეომაგნიტური ველის H – კომპონენტს შორის 2023 წლის აგვისტოდან 2024 წლის ივლისამდე პერიოდში, განსაკუთრებული ყურადღება გამახვილდა 2024 წლის 11 მაისის გეომაგნიტურ ქარიშხალზე. ვეივლეტ კოჰერენტული ანალიზით, ჩვენ გამოვავლინეთ მნიშვნელოვანი ურთიერთქმედებები მზის და გეომაგნიტურ მონაცემებს შორის, თანმიმდევრული პატერნებით რომლებიც ჩნდება ქარიშხლის დაწყებამდე. მზის ციკლების მიხედვით კორელაციურმა ანალიზმა (1964-2024) გამოავლინა 15 პროცენტის კორელაცია 5 დღის ჩამორჩენაზე, რაც ხაზს უსვამს მზის ლაქების რიცხვების პოტენციალს მაგნიტური ქარიშხლების წინასწარმეტყველებაში. ამ კვლევამ, ასევე, დაადასტურა ადგილობრივი გეომაგნიტური მონაცემების სანდოობა, ხაზი გაუსვა მის მნიშვნელობას საქართველოში გლობალური გეომაგნიტური მოვლენების რეგიონული გამოვლინებების გასაანალიზებლად. შედეგები ხელს უწყობს გეომაგნიტური ქარიშხლების გაუმჯობესებული პროგნოზირების მოდელის შემუშავებას და ხაზს უსვამს ლოკალიზებული კვლევების საჭიროებას კოსმოსურ ამინდთან დაკავშირებული რისკების უკეთ გასაანალიზებლად.

[28]. წარმოდგენილია მოკლე ინფორმაცია თსუ, მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტისა და სტუ, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის ერთობლივი კვლევების შესახებ ჩატარებული 2019-2023 წწ. და მათი შემდგომი განვითარების პერსპექტივებზე.

[29]. წარმოდგენილია ინფორმაცია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციაზე „კომპლექსური გეოფიზიკური მონიტორინგი საქართველოში: ისტორია, თანამედროვე პრობლემები, ქვეყნის მდგრადი განვითარების ხელშეწყობა“ მიძღვნილი საქართველოში რეგულარული მაგნიტური და მეტეოროლოგიური დაკვირვებების ორგანიზების 180 წლის იუბილისადმი, რომელიც ჩატარდა 2024 წლის 17-19 ოქტომბერს ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში.

[30]. სტატიაში, კვლევის ძირითად ობიექტს წარმოადგენს საქართველოში, კერძოდ კახეთის რეგიონში, სტიქიური ჰიდრომეტეოროლოგიური მოვლენის, სეტყვის წარმოშობის და გავრცელების თანამედროვე მდგომარეობა და ევოლუციის ხასიათის დადგენა. აღნიშნული საკითხების კვლევა განხორციელებულია წინა წლების სტატისტიკური მონაცემების შედარებითი ანალიზის საფუძველზე. სტიქიური მოვლენის (სეტყვის) დროში

ცვლილების ტენდენციების დასადგენად; ჩატარებულია საქართველოში სექცის საწინა-აღმდეგო სამუშაოების ანალიზი 2016-2024 წლებში; გაკეთებულია გარკვეული დასკვნები და დასახულია სამუშაოების ეფექტურობის გასაუმჯობესებელი რიგი ღონისძიებები.

[31]. სტატიაში წარმოდგენილია თსუ, მ. ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ატმოსფეროს ფიზიკის სექტორში 2014-2023 წწ. ჩატარებული კვლევების ზოგიერთი შედეგები. კვლევები ჩატარდა პროექტ „საქართველოში ბუნებრივი და ანთროპოგენური ატმოსფერული მახასიათებლების და მოვლენების კვლევა უსაფრთხო ეკოსისტემების შექმნის და ეკონომიკის მდგრადი განვითარების ხელშეწყობის მიზნით“ ფარგლებში.

[32]. გლობალური კლიმატის ცვლილება, რომელიც გამოწვეულია ბუნებრივი პროცესებითა და ადამიანთა მზარდი აქტივობით, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია საქართველოსთვის. რეგიონი განიცდის ტემპერატურის მატებას, გაუდაბნობას, ნალექების გადანაწილებას და ექსტრემალური ამინდის მოვლენების სიხშირისა და სიმძიმის მატებას. საქართველოს რთული ტოპოგრაფია და მისი სიახლოვე შავ და კასპიის ზღვებთან აუცილებელს ხდის მაღალი რეზოლუციის რეგიონალური კლიმატის მოდელების გამოყენებას კლიმატის ცვლილების სამომავლო რისკების შესაფასებლად. ამ კვლევაში ჩვენ განვიხილავთ საშუალო და ექსტრემალური ნალექების და ტემპერატურის მაღალი გარჩევადობის სიმულაციის შედეგებს აბდუს სალამის თეორიული ფიზიკის საერთაშორისო ცენტრის რეგიონალური კლიმატის მოდელის ვერსიის 4.7.1 ვერსიის გამოყენებით 1985-2008 წლებში, რაც უზრუნველყოფს პირველად შეფასებას მოდელის გამოყენებისას საქართველოს ტერიტორიაზე. მოდელის დომენი (1524 კმ; 2388 კმ) მოიცავს საქართველოს მთელ ტერიტორიას და მიმდებარე რეგიონებს. სიმულაცია, რომელიც ჩატარდა 12 კმ ჰორიზონტალურ დაშორებაზე, ERA5 მონაცემების სასაზღვრო პირობების გამოყენებით, მიუთითებს, რომ მინიმალური შეუსაბამობა დაკვირვებულ და მოდელირებულ საშუალო წლიურ ტემპერატურასა და ნალექს შორის, რომელიც ხვდება -1-დან 1°C და -200-დან 200 მმ-მდე დიაპაზონში, შესაბამისად, დაფიქსირდა აღმოსავლეთ საქართველოს უმეტეს სადგურებზე. ყველაზე დიდი განსხვავება მოდელსა და ნალექის საშუალო წლიურ ჯამებს შორის დაფიქსირდა შავი ზღვის სანაპიროზე, კოლხეთის დაბლობზე და ზოგიერთ მაღალმთიან სადგურზე დასავლეთ საქართველოში. საშუალო წლიურ ტემპერატურაში ყველაზე მნიშვნელოვანი განსხვავება მოდელსა და დაკვირვებებს შორის დაფიქსირდა ამბროლაურში, მთა საბუეთსა და დედოფლისწყაროში. საქართველოს ტერიტორიაზე ასეთი გრძელვადიანი ასეთი მაღალი გარჩევადობით მოდელირება ERA5-ის სასაზღვრო პირობების გამოყენებით პირველად ჩატარდა. მთლიანობაში, მოდელირების შედეგები საკმაოდ დამაკმაყოფილებელია, რაც მყარ საფუძველს იძლევა RegCM4.7.1 რეგიონული კლიმატის მოდელის წარმატებული გამოყენებისთვის შერჩეული პარამეტრიზაციით საქართველოში საშუალო და ექსტრემალური ტემპერატურისა და ნალექების მოდელირებისთვის.

[33]. წარმოდგენილია კახეთის (საქართველო) ტერიტორიაზე ვენახების თვითური საშუალო მაქსიმალური სექცის ზარალის განაწილების მოდელირების შედეგები (HDV) და მათი ქვედა და ზედა დონის 99%-იანი მნიშვნელობები (HDV\_Low, HDV\_Upp). გამოთვლები განხორციელდა ატმოსფეროში გაყინვის დონის მონაცემებისა და ღრუბლებში სექცის მაქსიმალური ზომების რადარული გაზომვების გამოყენებით, აგრეთვე ცნობილი ინფორმაცია ვენახების დაზიანების ხარისხის შესახებ, ჩამოვარდნილი სექცის ზომის მიხედვით. კახეთის სასოფლო-სამეურნეო ტერიტორია (7050 კმ<sup>2</sup>) დაყოფილი იყო 290 კვა-

დრატად, სიმაღლეების დიაპაზონი –  $0.21 \div 1.19$  კმ. გამოკვლევების პერიოდი – აპრილიდან სექტემბრამდე. მაგალითად, აიგო მაისისთვის კახეთის ტერიტორიაზე HDV-ის გავრცელების რუკა. წარმოდგენილია მონაცემები სტატისტიკური მახასიათებლების შესახებ HDV, HDV\_Low და HDV\_Upp აპრილიდან სექტემბრამდე. შესწავლილი იქნა HDV და HDV\_Upp-ის ვერტიკალური განაწილება მითითებულ ტერიტორიაზე. ნაჩვენებია, რომ HDV-ის გამოთვლილი მნიშვნელობები დამაკმაყოფილებლად შეესაბამება მათ რეალურ მნიშვნელობებს, რომლებიც მიღებულ იქნა სეტყვით დაზიანებული ტერიტორიების სპეციალური კომისიების შემოწმების დროს.

[34]. თოვლის ზვავები ერთ-ერთი ყველაზე საშიში მეტეოროლოგიური მოვლენაა. საქართველოს ტერიტორიის 56% დაფარულია ზვავსაშიში ფერდობებით. საქართველოში ზვავსაშიშროების პირველი შეფასება შეიძლება ეფუძნებოდეს მთიან რეგიონში მცხოვრები მოსახლეობის გამოცდილებას, მათ თავი აარიდეს ზვავსაშიშ ზონაში დასახლებას და აირჩიეს საცხოვრებელი ზონა, რომელიც ყველაზე მეტად დაცული იქნებოდა ზვავისაგან. საგზაო ინფრასტრუქტურის გამართული ფუნქციონირება ქვეყნის განვითარების მნიშვნელოვანი ეტაპია და დიდწილად დამოკიდებულია რიგი მეტეოროლოგიური ფენომენის ბუნებაზე. თოვლის ზვავები ერთ-ერთი ყველაზე საშიში ბუნებრივი მოვლენაა მაგისტრალებისთვის. ჩვენი კვლევის ობიექტია სამცხე-ჯავახეთის რეგიონი. ჩატარებული კვლევითი და საექსპედიციო სამუშაოების შედეგად მიღებული მონაცემთა დამუშავების საფუძველზე შესწავლილია სამცხე-ჯავახეთის რეგიონის ზვავსაშიში მაგისტრალები და მათი კლიმატურ-გეოგრაფიული მახასიათებლები. მონაცემთა ანალიზის საფუძველზე შეიქმნა რეგიონის გეოინფორმაციული სქემატური რუკები ზვავსაშიშ მაგისტრალებზე. მიღებული შედეგები ხელს შეუწყობს საქართველოს მაღალმთიანი რეგიონის საავტომობილო გზებზე დაგეგმილი ზვავსაწინააღმდეგო სამუშაოების მომზადებასა და განხორციელებას.

[35]. საქართველოში ბუნებრივი საშიშროებების შესახებ ჩვენ მიერ შედგენილი კატალოგიდან მიღებული მონაცემების საფუძველზე შესწავლილი იქნა 1961-2022 წლებში საქართველოს სხვადასხვა ზონაში გრიგალური ქარის მაქსიმალური სიდიდის სიხშირე და ალბათობა. ქარის სიჩქარის განაწილების ხასიათის, გრიგალური ქარის სიხშირის, ინტენსივობისა და მაგნიტუდის მიხედვით, საქართველოს ტერიტორიაზე გამოყოფენ 3 ზონას. ზონა 1 მოიცავს მთავარ კავკასიონის ქედს, ლიხის ქედს, აგრეთვე კოლხეთის დაბლობის შიდა და ქვემო ქართლის ბრტყელი ნაწილის მცირე არეალს. ზონა 2 მოიცავს საქართველოს მთათაშორის დეპრესიას – შავი ზღვის სანაპიროს, კოლხეთის დაბლობს, იმერეთის ზეგანს, აღმოსავლეთ საქართველოს ვაკეს და მთისწინეთს, გარდა კოლხეთის დაბლობის შიდა მცირე ტერიტორიისა და მცირე ტერიტორიისა ქვემო ქართლის ბრტყელი ნაწილისა, რომელიც შედის 1 ზონაში. ზონა 3 მოიცავს მესხეთის ქედის დასავლეთ ნაწილს, მნიშვნელოვან ნაწილს. თრიალეთის ქედის და ახალქალაქის ზეგანს. კერძოდ, მიღებული იქნა შემდეგი შედეგები. ყველაზე აქტიური გრიგალური ქარის ზონა არის ზონა 1 (გრიგალური ქარების სიხშირე არის 15 წელიწადში ერთხელ და განმეორებადობის პერიოდი 0.09 წელი  $\approx 1$  თვე). ყველაზე ნაკლებად აქტიური გრიგალური ქარის ზონაა მე-3 ზონა (1-2 ქარიშხალი ხდება წელიწადში, განმეორებადობის პერიოდი 0.9 წელია  $\approx 10-11$  თვე). გრიგალური ქარის მაგნიტუდის ყველაზე მაღალი სიხშირე ზონების მიხედვით ასეთია: ზონა 1 –  $3.6 \div 4.0$  (87%), ზონა 2 –  $3.1 \div 3.5$  (44%), ზონა 3 –  $3.6 \div 4.0$  (60%-ზე მეტი). პირველ ორ ზონაში, რაც იზრდება მაგნიტუდა, მათი სიხშირე მნიშვნელოვნად მცირდება. ქარიშხლების მაქსიმალური

სიდიდის ალბათობის მრუდები კარგად არის მიახლოებული მე-5 ხარისხის მრავალწევრებით. მოსალოდნელია ქარიშხლის მაგნიტუდები ამ ზონებში: ზონაში 1 – 5.8, 2 ზონაში – 5.5 და 3 ზონაში – 4.5 ალბათობით 0.2%, 0.5% და 1%. ასეთი სიდიდის განმეორებადობის პერიოდებია, შესაბამისად, 500 წელი, 200 წელი და 100 წელი. ამრიგად, უახლოეს ათწლეულებში, დიდი ალბათობით, მე-3 ზონაში გრიგალური ქარების სიდიდე 4.5-მდე გაიზრდება; გრძელვადიან პერსპექტივაში გრიგალური ქარის სიდიდის გარკვეული მატება 5.5-მდე შესაძლებელია მე-2 ზონაში, ხოლო 1-ლ ზონაში გრიგალური ქარი რომ გაძლიერდება 6 მაგნიტუდამდე ნაკლებად სავარაუდოა. შემუშავებულია საქართველოს ტერიტორიის ზონირების რუკა გრიგალური ქარის მაქსიმალური შესაძლო სიდიდის მიხედვით. არსებობს ორი უბანი, რომელთა მაქსიმალური სიმძლავრე 6-ს აღწევს (დასავლეთ საქართველოში ლიხის ქედის სამხრეთი ნაწილი და აღმოსავლეთ საქართველოში ქვემო ქართლის ბრტყელი ნაწილის მცირე ტერიტორია). ზოგიერთ რაიონში შესაძლებელია 5 და 5.5 მაგნიტუდის გრიგალური ქარები. საქართველოს მნიშვნელოვან ნაწილში ქარიშხლის მაქსიმალური სიმძლავრე 4.5 მაგნიტუდას აღწევს.

[36]. საქართველოს 11 რეგიონის (აჭარის ავტონომიური რესპუბლიკა, გურია, იმერეთი, კახეთი, ქვემო ქართლი, მცხეთა-მთიანეთი, სამეგრელო-ზემო სვანეთი) პარამეტრიზებული მეწყრული (LS) მონაცემების (მეწყრების რაოდენობა და მათი ფართობების) სტატისტიკური ანალიზის ზოგიერთი შედეგი რაჭა-ლეჩხუმი და ქვემო სვანეთი, სამცხე-ჯავახეთი, შიდა ქართლი, თბილისი) წარმოდგენილია 1900 წლიდან 2022 წლამდე. საქართველოსთვის მეწყერების რაოდენობა 1325-ია, საერთო ფართობი – 526.3 კმ<sup>2</sup>. ცალკეული მეწყერების ფართობი მერყეობს 0,0005 კმ<sup>2</sup>-დან (იმერეთი, სამეგრელო-ზემო სვანეთი, სამცხე-ჯავახეთი) 12.0 კმ<sup>2</sup>-მდე (შიდა ქართლი). კერძოდ, მიღებული იქნა შემდეგი შედეგები. წარმოდგენილია მეწყერების რაოდენობისა და მათი ტერიტორიების გავრცელების რუკა საქართველოს სხვადასხვა რეგიონისთვის. შესწავლილია მეწყერების რაოდენობის და ასევე მათი საერთო ფართობის განმეორებადობა LS ტერიტორიების სხვადასხვა დიაპაზონისთვის; საკვლევ ტერიტორიაზე მეწყერების ყველაზე მაღალი სიხშირე მოდის მათი ფართობის დიაპაზონზე 0.0005-0.05 კმ<sup>2</sup> (41.5%), ყველაზე მცირე – 5.01-12.0 კმ<sup>2</sup> დიაპაზონზე (0,38%); მეწყერების საერთო ფართობის ყველაზე მაღალი სიხშირე მოდის მათი ფართობის დიაპაზონზე 1.01-2.0 კმ<sup>2</sup> (26.1%), ყველაზე მცირე – 0.0005-0.05 კმ<sup>2</sup> დიაპაზონზე (1.8%). გამოითვლება საკვლევ რეგიონების ტერიტორიიდან მეწყერსაშიშროების საერთო ფართობის საშუალო წლიური წილი; ეს წილი გურიაში (0,288%) და აჭარაში (0.281%) მნიშვნელოვნად აღემატება სხვა რეგიონებს – შესაბამისად, 5.05-4.9-ჯერ მეტი, ვიდრე შიდა ქართლში და 28.8-28.1-ჯერ მეტი ვიდრე სამეგრელო-ზემო სვანეთში. გამოითვლება მეწყერების მთლიანი ფართობის ფარდობითი კოეფიციენტი ცალკეული რეგიონისთვის.  $RC = (\text{მეწყერსაშიშრო საშუალო ფართობი რეგიონში/მთლიანი საშუალო მეწყრული ფართობი ყველა რეგიონში})/(\text{რეგიონის ტერიტორია/ყველა რეგიონის ფართობი})$ ; გურიისა და აჭარის RC სიდიდე, შესაბამისად, 6.26 და 6.13 და 3.6-3.5-ჯერ მეტია შიდა ქართლში და 27.2-26.7-ჯერ მეტი ვიდრე ქვემო ქართლსა და სამეგრელო-ზემო სვანეთში. გამოითვალა მეწყრული რისკის ფარდობითი თანაფარდობა საკვლევ რეგიონების მოსახლეობისთვის (RLR).  $RLR = RC \cdot (\text{რეგიონის მოსახლეობა/ყველა რეგიონის მოსახლეობა})$ . ყველაზე მაღალი RLR მნიშვნელობა დაფიქსირდა აჭარაში (0.60); გურიისა და თბილისისთვის – 0.17 (დაახლოებით 3.5-ჯერ ნაკლები). ყველაზე დაბალი RLR მნიშვნელობები დაფიქსირდა რაჭა-ლეჩხუმსა და ქვემო სვანეთში (0.007).

[37]. წლის თბილ ნახევარში (აპრილი-ოქტომბერი) სეტყვის დღეების რაოდენობის ცვალებადობის შესწავლის ზოგიერთი შედეგი 1941 წლიდან 2021 წლამდე დაფიქსირდა საქართველოს 22 მეტეოსადგურზე, საშუალოდ ხუთ კლიმატურ ზონაში, რომელიც მოიცავს ოთხ კლიმატურ ჯგუფს. Köppen კლასიფიკაციის მიხედვით, წარმოდგენილია. I და III ზონები – თბილი ოკეანეური ჰავა/ტენიანი სუბტროპიკული ჰავა (Cfa): I ზონა – ქუთაისი, მთა-საბუეთი, სენაკი, შოვი, ზუგდიდი; III ზონა – ყვარელი, ლაგოდეხი, თელავი. II ზონა – თბილი კონტინენტური ჰავა/ტენიანი კონტინენტური ჰავა (დეფა): ბოლნისი, გორი, ხაშური, მარნეული, ფასანაური, სტეფანწმინდა, თბილისი, თიანეთი. ზონა IV – ზომიერი ოკეანეური კლიმატი (Cfb): ბახმარო, ჩაქვი, ხულო. ზონა V – ზომიერი კონტინენტური ჰავა/ ნოტიო კონტინენტური კლიმატი (დეფა): ბაკურიანი, ბორჯომი, წალკა. შესწავლილი იქნა შემდეგი პარამეტრების სტატისტიკური მახასიათებლები. H(I)...H(V) – სეტყვიანი დღეების საშუალო რაოდენობა მეტეოროლოგიურ სადგურზე წლის თბილ ნახევარში I...V კლიმატური ზონებისთვის, შესაბამისად. H(I-V) – სეტყვიანი დღეების საშუალო რაოდენობა მეტეოროლოგიურ სადგურზე ყველა კლიმატური ზონისთვის. H(I)'...H(I-V)' – H(I)...H(I-V) ცვლილების საშუალო მაჩვენებელი ათწლეულში 1941-1950 წლებში... 2011-2021 წლებში. კერძოდ, მიღებული იქნა შემდეგი შედეგები. H სიდიდეების ცვლილების ყველაზე მცირე დიაპაზონი შეინიშნება პირველ კლიმატურ ზონაში ( $0 \pm 1.8$ ), ყველაზე დიდი – მეხუთეში ( $0 \pm 8.3$ ). ცალკეულ ზონებს შორის შესწავლილ პარამეტრებს შორის წრფივი კორელაცია მერყეობს 0.27-დან (წყვილი H(I) – H(IV), უმნიშვნელო კორელაცია) 0.55-მდე (წყვილი H(II) – H(III) და H(II) – H(V). ), ზომიერი კორელაცია). დღეების საშუალო ათი ათწლეულის რაოდენობის ცვალებადობა მეტეოსადგურზე სეტყვით იცვლება 0-დან (IV ზონა, 2011-2021) 5.9-მდე (ზონა V, 1941-1950). 1941-2021 წლებში საქართველოს ყველა კლიმატური ზონისთვის სეტყვიანი დღეების საშუალო რაოდენობის ტენდენცია მეტეოროლოგიურ სადგურზე წელიწადში საკმაოდ დამაკმაყოფილებლად არის აღწერილი მეოთხე სიმძლავრის პოლინომით. H(I)'...H(I-V)'-ის ცვალებადობა იცვლება -1.48-დან 1941-1950 წლებში 2.09-მდე 2011-2021 წლებში (ზონა V).

[38]. საქართველოს მთიან რეგიონებში გავრცელებულია ბუნებრივი საფრთხეები, როგორცაა ზვავი. ისინი დიდ საფრთხეს უქმნიან მოსახლეობას, იწვევენ ნგრევას, პარალიზებენ გზების მონაკვეთებს და ხშირად იწვევენ მსხვერპლს. საქართველოს რაჭა-ლეჩხუმი ქვემო სვანეთის რეგიონი მიეკუთვნება მაღალმთიან რეგიონს (ზღვის დონიდან 400-4000 მ). რეგიონი ხასიათდება ციცაბო ფერდობებით და უხვი თოვლით. აქედან გამომდინარე, ზვავები არ არის იშვიათი მოვლენა რეგიონში. თოვლის ზვავები განსაკუთრებით აზიანებს რეგიონის მუნიციპალიტეტებს დამაკავშირებელ საგზაო ინფრასტრუქტურას. ზამთარში გზის მონაკვეთების ფერდობებიდან ზვავებით გადაკეცვა საფრთხეს უქმნის მიმდებარე დასახლებულ პუნქტებს, იწვევს ეკოლოგიურ პრობლემებს და ხშირია ადამიანის მსხვერპლი რეგიონის საავტომობილო გზების საკვლევ მონაკვეთებზე შესწავლილია მეტეოროლოგიური ელემენტები: ჰაერის ტემპერატურა, თოვლის საფარი, ნალექი. მონაცემები დამუშავებულია რეგიონის ორი მეტეოროლოგიური სადგურის (ონი, მამისონის უღელტეხილი) მონაცემების მიხედვით და მოიცავს ბოლო 60 წელს. კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით შედგენილია რაჭა-ლეჩხუმის ქვემო სვანეთის რეგიონის საგზაო მონაკვეთებზე ზვავსაშიშროების გეოინფორმაციული რუკა. ჩატარებული კვლევა მნიშვნელოვნად შეუწყობს ხელს ზვავსაწინააღმდეგო ღონისძიებების სწორი და ეფექტური განხორციელებას, ქვეყნის ეკონომიკური ზარალის შემცირებას.

[39]. ახლო წარსულში რადიაციული დაბინძურება ხშირად ხდებოდა საქართველოში ინდუსტრიული ზონების განსაკუთრებით მჭიდროდ ურბანიზებულ რაიონებში. ამჟამად რუსთავის ტერიტორიის შემოწმებული ნაწილის Cs-137, Sr-90 და K-40 რადიოაქტიური ელემენტებით რადიაციული დაბინძურების დონე არ არის საგანგაშო. თუმცა, რადიაციული სიტუაციის რეტროსპექტული სურათის საიმედო წარმოდგენა მოითხოვს დროში და სივრცეში ნიადაგის დაბინძურების დონის ცვლილების შეფასებას. ამისათვის ჩვენ უნდა ვიცოდეთ დაბინძურების წყაროს სიმძლავრე და მისი ხანგრძლივობა. ბუნებრივია, რომ გარემოს დაბინძურება ვითარდება სივრცეშიც და დროშიც. ნიადაგში დაბინძურების გავრცელების პროცესის ადეკვატური მათემატიკური ანალოგის შექმნა განსაკუთრებული სირთულის ამოცანაა. მისი ზუსტი ანალიტიკური ამოხსნა შეუძლებელია, თუმცა არსებობს სავარაუდო გადაწყვეტილებები, რის საფუძველზეც შესაძლებელია დაბინძურების დინამიკური სურათის სწორად მოდელირება. ატმოსფერული დაბინძურებისგან განსხვავებით, ნიადაგში დიფუზიის პროცესზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დედამიწის ზედაპირის ოროგრაფია, ნიადაგის აგროქიმიური ბუნება და მისი მაგნიტური თვისებები. ნიადაგის ზედაპირის დაბინძურების დროში და სივრცეში გავრცელების მოდელირებისას დასაშვებია ზედაპირული წყლების კონვექციური დინების ეფექტის იგნორირება. ზოგადად, სამართლიანია, რომ ნიადაგში ქიმიური დაბინძურების მიგრაციის პროცესს მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს მიწისქვეშა წყლების ნელი მოძრაობა, ე.წ. ფილტრაცია, რომელზეც გავლენას ახდენენ ატმოსფერული ნალექები. გარდა ამისა, ატმოსფერული დაბინძურებისგან განსხვავებით, ნიადაგში დიფუზიის პროცესზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დედამიწის ზედაპირის ოროგრაფია, ნიადაგის აგროქიმიური ბუნება და მისი მაგნიტური თვისებები. მიუხედავად ასეთი მრავალფეროვნებისა, ზოგიერთ შემთხვევაში მისაღებია, რომ ზოგიერთი ფაქტორი თანაბრად ეფექტური არ არის. ნიადაგის ზედაპირის დაბინძურების დროში და სივრცეში გავრცელების მოდელირებისას დასაშვებია ზედაპირული წყლების კონვექციური დინების ეფექტის იგნორირება. რელიეფიდან გამომდინარე, ასევე შესაძლებელია არასტაციონარული დიფუზიის განტოლების გამოყენება. ფურიეს კომპონენტებით წარმოდგენილი დიფუზიური განტოლების ამოხსნის ეს ზოგადი მახასიათებელი გამოდგება რუსთავის ცენტრალურ პარკში დაბინძურების დინამიკური სურათის მიახლოებითი რეტროსპექტული რეკონსტრუქციისთვის. აშკარაა, რომ სავარაუდო რეკონსტრუქციისთვის საკმარისია გარკვეული დროის ინტერვალით გამოყოფილი გაზომვის შედეგების ინტერპოლაცია მოცემული გრაფიკული გამოსახულებების პალიტრის სახით. ასეთ შემთხვევაში შესაძლებელი ხდება დაბინძურების საწყისი მომენტის მიახლოებითი თარიღის დაზუსტება, ასევე მომავალში ნიადაგის ზედაპირის დაბინძურების დამახასიათებელ ფონურ სიდიდემდე გათანაბრების მომენტის პროგნოზირება.

[40]. გასული საუკუნის შუა წლებიდან შეიმჩნევა დედამიწაზე სხვადასხვა სახის ბუნებრივი მოვლენების სიხშირისა და ინტენსივობის გაზრდის ტენდენცია, მთავარ პროვოცირებად კლიმატის ცვლილება ითვლება. დადგენილია, რომ დედამიწაზე დაფიქსირებული ბუნებრივი მოვლენების უმრავლესობა მიეკუთვნება ჰიდრომეტეოროლოგიური მოვლენების კატეგორიას. ჰიდრომეტეოროლოგიურ პროცესებს შორის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სეტყვა და მისი აქტიური გავლენა, რაც გადამწყვეტია პრაქტიკული თვალსაზრისითაც. საქართველოს ტერიტორიის გეოგრაფიული მდებარეობის თავისებურებისა და რთული რელიეფის გამო ხშირად ხდება ატმოსფეროს ზოგადი ცირკულაციის

პროცესების გამწვავება და სხვადასხვა სახის სპონტანური ჰიდრომეტეოროლოგიური პროცესების წარმოქმნა.

სტატიამი კვლევის მთავარი ობიექტია სპონტანური ჰიდრომეტეოროლოგიური მოვლენების ევოლუციის, სეტყვის წარმოშობისა და გავრცელების დღევანდელი მდგომარეობისა და ბუნების დადგენა საქართველოში, კერძოდ კახეთის რეგიონში.

აღნიშნული საკითხების კვლევა ხორციელდება წინა წლების სტატისტიკური მონაცემების შედარებითი ანალიზის საფუძველზე. სტიქიის (სეტყვის) დროში ცვლილების ტენდენციების დასადგენად განხორციელდა სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოების ანალიზი საქართველოში 2016-2023 წლებში. გაკეთდა გარკვეული დასკვნები და გატარდა მთელი რიგი ღონისძიებები სამუშაოს ეფექტურობის გასაუმჯობესებლად. მთლიანობაში, 2016-2023 წლებში აქტიური ზემოქმედება იყო საჭირო 403 შემთხვევაში, ზარალმა ამ პერიოდში შეადგინა (100%-ზე დაყვანილი მონაცემებით) 31 527 ჰექტარი, ანუ საშუალოდ 3 941 ჰა ყოველწლიურად, რაც დაცული ტერიტორიის 1,4%-ს შეადგენს. ემპირიული შეფასების საფუძველზე, აქტიური ზემოქმედების შედეგად, დაზიანება მცირდება 35-40 %-ით.

[41]. სეტყვა ეკუთვნის ისეთ საშიშ მეტეოროლოგიურ მოვლენას, რომელიც დიდ ზიანს აყენებს ქვეყნების ეკონომიკას. ძლიერი სეტყვა ხშირია საქართველოში, მის აღმოსავლეთ ნაწილში. განსაკუთრებით აღსანიშნავია კახეთის რეგიონი, სადაც ძლიერი სეტყვა ყოველწლიურად მილიონობით ზარალს იწვევს, განსაკუთრებით სოფლის მეურნეობის სექტორში. აქედან გამომდინარე, მნიშვნელოვანია განისაზღვროს დაზარალებული სასოფლო-სამეურნეო ტერიტორიები და მიყენებული ზიანის ხარისხი. დამუშავებულია 2016-2019 წლების მონაცემები, რომელიც მოიცავს მონაცემებს კახეთის რეგიონის მთლიანი დაზიანებული ტერიტორიების შესახებ, მათ შორის 100% დაზიანებული ტერიტორიების შესახებ, ასევე საშუალო მონაცემებს ზიანის ხარისხის შესახებ პროცენტებში და მონაცემებს დაზიანებული აგრარული კულტურის სახეობების შესახებ. ნაჩვენებია დაზიანებული ტერიტორიების განაწილება და დაზიანების ხარისხი კახეთის რეგიონში მუნიციპალიტეტების მიხედვით. განისაზღვრა განსაკუთრებით მაღალი ხარისხის დაზიანებით დასაფარი ტერიტორიები.

[42]. აღმოსავლეთ საქართველოში სეტყვა დიდ ზიანს აყენებს კახეთის რეგიონს. ნაწილობრივ ან მთლიანად ანადგურებს სასოფლო-სამეურნეო კულტურებს: ვენახებს, ხეხილის ბაღებს, ერთწლიან და მრავალწლიან კულტურებს. შედეგად, ქვეყნის ეკონომიკა მნიშვნელოვან ზარალს განიცდის. დაზიანების ხარისხი დიდწილად დამოკიდებულია სეტყვის მარცვლების დიამეტრზე. რაც უფრო დიდია სეტყვის დიამეტრი, მით მეტ ზიანს აყენებს სეტყვა. 2016-2019 წლების სეტყვის საწინააღმდეგო სამსახურის მასალებზე დაყრდნობით, რომელიც მოიცავს რადარის სადგურიდან მიღებულ მონაცემებს ღრუბლებში სეტყვის დიამეტრის, ჩასახვის სიმაღლის, დამუშავებული წერტილების და დროის შესახებ, შესწავლილი იყო სეტყვის ზონების განაწილება ქ. კახეთის რეგიონის ტერიტორიაზე. მიღებული შედეგები შესაძლებელს გახდის სეტყვის ზონების დაზიანების გამომწვევი კლიმატური ფაქტორების გაანალიზებას, რაც მნიშვნელოვან წვლილს შეიტანს სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოების მეთოდების შემუშავებაში.

[43]. ჩვენს მიერ შედგენილი 1961-2022 წლების სტიქიური უბედურებების კატალოგის მონაცემების საფუძველზე, რომლებიც საქართველოში მოხდა, შეფასდა საქართველოს სხვადასხვა გეოგრაფიულ პირობებში ქარიშხლების მაქსიმალური შესაძლო სიდიდეები. გამოყენებული იქნა კლიმატოლოგიური მონაცემების დამუშავების სტატისტიკური მე-



თოდები. ქარიშხლების მაქსიმალური შესაძლო სიდიდის შეფასება განხორციელდა ემპირიული ალბათობის მრუდის საფუძველზე, რომელიც აჩვენებს სერიის მთლიან ნაკრებში მოცემული მნიშვნელობის ალბათობას ან გადაჭარბების ალბათობას. შემუშავდა საქართველოს ტერიტორიის ზონირების რუკა ქარიშხლების მაქსიმალური შესაძლო სიდიდეების მიხედვით. არსებობს ორი ტერიტორია, სადაც ყველაზე მაღალი მაქსიმალური სიდიდე 6-ს აღწევს. ესენია ლიხის ქედის სამხრეთი ნაწილი დასავლეთ საქართველოში და ქვემო ქართლის ვაკე ნაწილის მცირე ნაწილი აღმოსავლეთ საქართველოში. ზოგიერთ რაიონში შესაძლებელია 5 და 5.5 მაგნიტუდის ქარიშხლები. საქართველოს ტერიტორიის მნიშვნელოვან ნაწილში ქარიშხლების მაქსიმალურმა სიდიდემ შეიძლება 4.5-ს მიაღწიოს.

## ლიტერატურა-REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. ამირანაშვილი ა., ელიზბარაშვილი ე., ვარაზანაშვილი ო., ფიფია მ. სეტყვიან დღეთა რიცხვის სტატისტიკური ანალიზი წლის თბილ ნახევარში 1941-2021 წლებში საქართველოში 30 მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემების მიხედვით. სტუ-ს ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის სამეცნიერო რეფერირებადი შრომათა კრებული, ISSN: 1512-0902, ტ. 135, 2024, გვ. 32-38. <http://109.205.44.60/bitstream/123456789/10593/1/135-6.pdf>
2. ბეგლარაშვილი ნ., ფიფია მ., ჯამრიშვილი ნ., ამირანაშვილი ა., ელიზბარაშვილი ე., დიასამიძე ც. შემოდგომის პირველი წყინვის სტატისტიკური ანალიზი საქართველოს ტერიტორიაზე. სტუ-ს ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის სამეცნიერო რეფერირებადი შრომათა კრებული, ISSN: 1512-0902, ტ. 135, 2024, გვ. 39-43. <http://109.205.44.60/bitstream/123456789/10592/1/135-7.pdf>
3. Amiranashvili A., Bolashvili N., Kartvelishvili L., Liparteliani G., Tsirgvava G. Holiday Climate Index in Kvemo Kartli (Georgia). Georgian Geographical Journal, E-ISSN: 2667-9701, 24(1), 2024, pp. 35-46. <https://doi.org/10.52340/ggj.2024.04.01.05>
4. Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Varamashvili N. About the Representativeness of Data from Meteorological Stations in Georgia for Monthly Sum of Atmospheric Precipitation Around of These Stations. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 27(1), 2024, pp. 52-57. <https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/7983>
5. Pipia M., Amiranashvili A., Beglarashvili N., Elizbarashvili E., Varazanashvili O. Variability in the Number of Days with Hail in the Warm Half of the Year in Bolnisi and Tsalka in 1941-2021 and their Expected Change until 2045. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 27(1), 2024, pp. 58-66. <https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/7984>
6. Amiranashvili A., Chikhladze V., Pipia M., Varamashvili N. Some Results of an Expeditionary Study of the Tornado Distribution Area in Kakheti on June 25, 2024. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 27(1), 2024, pp. 67-76. <https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/7985>
7. Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Matzarakis A. Variability of the Holiday Climate Index in Tsalka (Georgia). Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 27(1), 2024, pp. 77-90. <https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/7986>
8. Bliadze T. Statistical Analysis of the Weekly Fire Alerts Count in Georgia and its Regions in 2012-2023. Int. Sc. Conf. “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country”, Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, Publish House of Iv. Javakhiashvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, pp. 101 – 104. [http://109.205.44.60/bitstream/123456789/10632/1/26\\_MM-180.pdf](http://109.205.44.60/bitstream/123456789/10632/1/26_MM-180.pdf)
9. Bliadze T., Chkhitunidze M., Kirkitadze D. Statistical Characteristics of Mean Monthly and Annual Concentrations of Particulate Matter PM2.5 and PM10 in Tbilisi in 2017-2023. Int. Sc. Conf. “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the

- Country”, Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, pp. 105 – 108.  
[http://109.205.44.60/bitstream/123456789/10631/1/27\\_MM-180.pdf](http://109.205.44.60/bitstream/123456789/10631/1/27_MM-180.pdf)
10. Japaridze N., Khazaradze K., Chkhitudidze M., Revishvili A. Variability of the Birth, Death and Population Growth Rates in Georgia in 1994-2023. Int. Sc. Conf. “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country”, Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, pp. 129 – 132. [http://109.205.44.60/bitstream/123456789/10625/1/33\\_MM-180.pdf](http://109.205.44.60/bitstream/123456789/10625/1/33_MM-180.pdf)
  11. Japaridze N., Kartvelishvili L., Khazaradze K., Chkhitudidze M., Nikolaishvili M., Revishvili A. Statistical Characteristics of the Daily Values of Air Effective Temperature According to Missenard in Batumi. Int. Sc. Conf. “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country”, Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, pp. 133 – 136.  
[http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/10624/1/34\\_MM-180.pdf](http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/10624/1/34_MM-180.pdf)
  12. Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Matzarakis A. The Interval Forecasting of the Holiday Climate Index in Tsalka (Georgia) to 2026-2035. Int. Sc. Conf. “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country”, Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, pp. 137 – 140. [http://109.205.44.60/bitstream/123456789/10623/1/35\\_MM-180.pdf](http://109.205.44.60/bitstream/123456789/10623/1/35_MM-180.pdf)
  13. ვარამაშვილი ნ., ფიფია მ. თსუ, მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტისა და სტუ, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის ერთობლივი სამუშაოების მოკლე მიმოხილვა ბოლო ხუთი წლის განმავლობაში. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „კომპლექსური გეოფიზიკური მონიტორინგი საქართველოში: ისტორია, თანამედროვე პრობლემები, ქვეყნის მდგრადი განვითარების ხელშეწყობა“, შრომები, ISBN 978-9941-36-272-9, ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, თბილისი, საქართველო, 17-19 ოქტომბერი, 2024 წ., გვ. 141 – 144. [http://109.205.44.60/bitstream/123456789/10622/1/36\\_MM-180.pdf](http://109.205.44.60/bitstream/123456789/10622/1/36_MM-180.pdf)
  14. Amiranashvili A. Analysis of Variability of Mean Annual Air Temperature in Tbilisi in 1844-2023 Against the Background of Climate Change. Int. Sc. Conf. “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country”, Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, pp. 145 – 149. [http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/10621/1/37\\_MM-180.pdf](http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/10621/1/37_MM-180.pdf)
  15. Bolashvili N., Chikhladze V., Kartvelishvili L., Tatishvili M. Variability of Atmospheric Precipitation in Tbilisi in 1844-2023. Int. Sc. Conf. “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country”, Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, pp. 150 – 154. [http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/10620/1/38\\_MM-180.pdf](http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/10620/1/38_MM-180.pdf)
  16. Amiranashvili A., Brocca L., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Varamashvili N. Analysis of the Precipitation Regime that Triggered the Landslide in Nergeeti (Imereti, Georgia) on February 7, 2024. Int. Sc. Conf. “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country”, Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, pp. 155 – 158.  
[http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/10619/1/39\\_MM-180.pdf](http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/10619/1/39_MM-180.pdf)
  17. Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Varamashvili N. Comparison of Satellite and Ground-Based Data on Semi-Annual and Annual Sum of Atmospheric Precipitation for 26 Points in Georgia in 2001-2020. Int. Sc. Conf. “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country”, Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, pp. 159 – 163.  
[http://www.openlibrary.ge/bitstream/123456789/10618/1/40\\_MM-180.pdf](http://www.openlibrary.ge/bitstream/123456789/10618/1/40_MM-180.pdf)
  18. Beglarashvili N., Jamrlishvili N., Janelidze I., Pipia M., Tavidashvili Kh. Some Results of Analysis of Heavy Precipitation in Tbilisi on July 7, 2024 Based on Ground-Level and Satellite Measurements. Int. Sc. Conf. “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country”, Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, pp. 164 – 167.  
[http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/10617/1/41\\_MM-180.pdf](http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/10617/1/41_MM-180.pdf)

19. Amiranashvili A., Chikhladze V., Kekenadze E., Pipia M., Samkharadze I., Telia Sh., Varamashvili N. Meteorological Conditions for the Tornado Formation in Kakheti (Georgia) on June 25, 2024. Int. Sc. Conf. “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country”, Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, pp. 168 – 171.  
[http://www.openlibrary.ge/bitstream/123456789/10616/1/42\\_MM-180.pdf](http://www.openlibrary.ge/bitstream/123456789/10616/1/42_MM-180.pdf)
20. Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V. Experimental Modeling of Atmospheric Processes in the Large Cloud Chamber of the M. Nodia Institute of Geophysics, TSU. Past, Present, Development Prospects. Int. Sc. Conf. “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country”, Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, pp. 172 – 175.  
[http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/10615/1/43\\_MM-180.pdf](http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/10615/1/43_MM-180.pdf)
21. ჩიხლაძე ვ., ქართველიშვილი ლ. ირიბი წვიმის მარეგისტრირებელი ხელსაწყოთა გამოცდა თერმობაროკამერაში. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „კომპლექსური გეოფიზიკური მონიტორინგი საქართველოში: ისტორია, თანამედროვე პრობლემები, ქვეყნის მდგრადი განვითარების ხელშეწყობა“, შრომები, ISBN 978-9941-36-272-9, ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, თბილისი, საქართველო, 17-19 ოქტომბერი, 2024 წ., გვ. 176 – 178. [http://www.openlibrary.ge/bitstream/123456789/10614/1/44\\_MM-180.pdf](http://www.openlibrary.ge/bitstream/123456789/10614/1/44_MM-180.pdf)
22. ქართველიშვილი ლ., ამირანაშვილი ა., მეგრელიძე ლ. კომპლექსური კლიმატური პარამეტრების გათვალისწინება ეკონომიკის ზოგიერთი სექტორის დაპროექტებისას. საქართველოს ალექსანდრე ჯავახიშვილის სახელობის გეოგრაფიული საზოგადოების შრომები, ახალი სერია, IV (XXII), ISSN 2587-5450, თბილისი, 2024, გვ. 121-129.
23. Jimsheladze T.T., Melikadze G.G., Kobzev G.N., Tchankvetadze A.Sh., Matiashvili T.G. Reaction of the Geomagnetic Field on the Earthquakes Preparation Process in Georgia. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 27(2), 2024, pp. 29 – 36.  
<https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/8448>
24. Kapanadze N.A., Melikadze G.G., Tchankvetadze A.Sh., Jimsheladze T.T., Magradze Z.I., Gogichaishvili Sh. D., Todadze M. Sh., Chikviladze E.V., Chelidze L. T. 222Rn Concentration Levels in Soil Gas and Water in Kvemo Kartli Region, Georgia – 222Rn Mapping. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 27(2), 2024, pp. 37 – 47. <https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/8449>
25. Kereselidze Z.A., Varamashvili N.D. On the Issue of Modelling the Dynamic Picture of the Spread of a Mudflow in the Shovi Gorge due to a Collapse on the Glacier Buba. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 27(2), 2024, pp. 48 – 62. <https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/8461>
26. Kereselidze Z.A., Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Chkhitunidze M.S., Lominadze G.J., Tchania E.B. Conical Model of Non-Uniform Rotation and Interaction of Elements of the Atmospheric Rotation Chain in a Linear Approximation. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 27(2), 2024, pp. 63 – 73.  
<https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/8462>
27. Tsulukidze L.K., Kharshiladze O.A., Ghurchumelia A.P., Sorriso-Valvo L., Elbakidze Kh. Z., Matiashvili T.G. Coherent Analysis of Intense Geomagnetic Disturbances Using Dusheti Observatory Data and the DST Index. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 27(2), 2024, pp. 74 – 80.  
<https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/8463>
28. Varamashvili N.D., Pipia M.G. Some Results of the Joint Research of the M. Nodia Institute of Geophysics, TSU and Institute of Hydrometeorology, GTU from 2019 to 2023 and Prospects for their Further Development. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 27(2), 2024, pp. 81 – 95.  
<https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/8464>
29. Varamashvili N.D., Pipia M.G. International Scientific Conference “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country”. Journal of the

- Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 27(2), 2024, pp. 96 – 105.  
<https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/8465>
30. ლალიძე ლ., კაჭარავა გ., ბერულავა ნ., გელოვანი გ. სეტყვაზე აქტიური ზემოქმედების შედეგების შეფასება კახეთის რეგიონში (საქართველო). მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, შრომები, ISSN 1512-1135, ტ. LXXVII, ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, თბილისი, 2024, გვ. 97 – 103.  
[http://dSPACE.gela.org.ge/bitstream/123456789/10662/1/11\\_Tr\\_IG\\_77\\_2024.pdf](http://dSPACE.gela.org.ge/bitstream/123456789/10662/1/11_Tr_IG_77_2024.pdf)
  31. ამირანაშვილი ა., ბლიაძე თ., კერესელიძე ზ., ჩიხლაძე ვ. თსუ, მ. ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ატმოსფეროს ფიზიკის სექტორში 2014-2023 წწ. ჩატარებული კვლევების ზოგიერთი შედეგები. მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, შრომები, ISSN 1512-1135, ტ. LXXVII, ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, თბილისი, 2024, გვ. 104 – 125.  
[http://dSPACE.gela.org.ge/bitstream/123456789/10661/1/12\\_Tr\\_IG\\_77\\_2024.pdf](http://dSPACE.gela.org.ge/bitstream/123456789/10661/1/12_Tr_IG_77_2024.pdf)
  32. Elizbarashvili M., Amiranashvili A., Elizbarashvili E., Mikuchadze G., Khuntselia T., Chikhradze N. Comparison of RegCM4.7.1 Simulation with the Station Observation Data of Georgia, 1985-2008. Atmosphere, ISSN: 2073-4433, 15, 369, 2024, 19 pp. <https://doi.org/10.3390/atmos15030369>
  33. Pipia M.G., Amiranashvili A.G., Elizbarashvili E.Sh., Varazanashvili O.Sh., Beglarashvili N.G., Jamrshvili N.K. Modeling the Distribution of Mean Max Hail Damage to Vineyards on the Territory of Kakheti (Georgia) using Data of the Freezing Level in the Atmosphere and Radar Measurements. Afr. J. Bio. Sc., ISSN: 2663-2187, Volume 6, Issue 14, 2024, pp. 6132-6139,  
<https://doi.org/10.48047/AFJBS.6.14.2024.6132-6139>
  34. [34]. Beglarashvili N., Pipia M., Gorgijanidze S., Kobakhidze N., Jintcharadze G. Snow Avalanche Danger of Samtskhe-Javakheti Region (Georgia). Afr. J. Bio. Sc., 6.12, ISSN: 2663-2187, 2024, pp. 5928-5936,  
<https://doi.org/10.48047/AFJBS.6.12.2024.5928-5936>
  35. Amiranashvili A., Elizbarashvili E., Gaprindashvili G., Varazanashvili O., Fuchs S. Assessment of the Long-Term Risk of Dangerous Hurricanes on the Territory of Georgia Using Data from 1961 to 2022. "Reliability: Theory and Applications", ISSN 1932-2321, Special Issue № 6 (81), Part-2, Vol. 19, 2024, pp. 508 – 514. <https://doi.org/10.24412/1932-2321-2024-681-508-514>
  36. Amiranashvili A., Elizbarashvili E., Gaprindashvili G., Varazanashvili O., Fuchs S. Statistical Analysis of Parameterized Landslide Data in Georgia from 1900 to 2022. "Reliability: Theory and Applications", ISSN 1932-2321, Special Issue № 6 (81), Part-2, Vol. 19, 2024, pp. 812 – 818.  
<https://doi.org/10.24412/1932-2321-2024-681-812-818>
  37. Pipia M., Amiranashvili A., Elizbarashvili E., Varazanashvili O., Beglarashvili N., Jamrshvili N. Variability in the Number of Days with Hail in the Warm Half of the Year on the Territory of Georgia in 1941-2021. "Reliability: Theory and Applications", ISSN 1932-2321, Special Issue № 6 (81), Part-2, Vol. 19, 2024, pp. 552 – 559. <https://doi.org/10.24412/1932-2321-2024-681-552-559>
  38. Beglarashvili N., Pipia M., Gorgijanidze S., Varamashvili N., Kobakhidze N., Jintcharadze G., Pipia G. Avalanche Danger on Roads in Mountainous Regions of Georgia Using the Example of Racha-Lechkhumi Kvemo Svaneti Region. "Reliability: Theory and Applications", ISSN 1932-2321, Special Issue № 6 (81), Part-2, Vol. 19, 2024, pp. 77 – 87. <https://doi.org/10.24412/1932-2321-2024-681-77-87>.
  39. Matiashvili S., Kereselidze Z., Khvedelidze I. Mining Activity in Georgia and Non-Stationary Model of Intensive Change of Soil Pollution. "Reliability: Theory and Applications", ISSN 1932-2321, Special Issue № 6 (81), Part-2, Vol. 19, 2024, pp. 901 – 903. <https://doi.org/10.24412/1932-2321-2024-681-901-903>
  40. Katcharava G., Berulava N., Gelovani G., Laghidze L. Assessment of Active Impact on Hail Effects in Kakheti Region (Georgia). The 6th Eurasian Conference RISK-2024 of the COP-29 Side Event "Innovations in Minimization of Natural and Technological Risks of Climate Changes: Methodology and Practice". Abstract Book, ISBN 978-9952-583-53-3, Baku, Azerbaijan, November 27-29, 2024, pp. 88-88, [www.eurasianrisk2024.com](http://www.eurasianrisk2024.com)
  41. Pipia M.G., Amiranashvili A.G., Elizbarashvili E. Sh., Beglarashvili N.G., Pipia G.G., Jamrshvili N.K., Varazanashvili O. Sh. Degree and Areas of Damage Caused by Hail in the Territory of Kakheti Region (Georgia). Journal of International Scientific Publications: Agriculture & Food, ISSN 1314-8591, vol. 12, 2024, pp. 54-60. <https://doi.org/10.62991/AF1996546926>

42. Pipia M.G., Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Elizbarashvili E. Sh., Pipia G.G., Beglarashvili N.G., Varazanashvili O.Sh. Distribution of Hailstorm Areas in Kakheti Region (Georgia) According to the Diameter of Hailstones in the Clouds. Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety, ISSN 1314-7234, vol. 18, 2024, pp.103-108. <https://doi.org/10.62991/ES1996566836>
43. Elizbarashvili E. Sh., Varazanashvili O.Sh., Avtandil G. Amiranashvili A.G., Pipia M.G. Estimation of the Maximum Possible Magnitude of Hurricanes on the Territory of Georgia. European Geographical Studies, E-ISSN: 2413-7197, 11(1), 2024, pp. 3-8. DOI: 10.13187/egs.2024.1.3, <https://egs.cherkasgu.press>

**თსუ-ს მ. ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ატმოსფეროს  
ფიზიკის სექტორის მონაწილეობით 2024 წელს გამოქვეყნებული  
სამეცნიერო ნაშრომების მოკლე მიმოხილვა**

**ამირანაშვილი ა., ბლიაძე თ., კერესელიძე ზ., ჩიხლაძე ვ.**

**რეზიუმე**

სტატიაში წარმოდგენილია თსუ-ს მ. ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ატმოსფერული ფიზიკის სექტორის მონაწილეობით 2024 წელს გამოქვეყნებული სამეცნიერო ნაშრომების მოკლე მიმოხილვა.

**საკვანძო სიტყვები:** ატმოსფეროს ფიზიკა, ამინდის მოდიფიცირება, ბუნებრივი კატასტროფები, კლიმატის ცვლილება, ბიოკლიმატი, ეკოლოგია.

**SOME RESULTS OF RESEARCH CONDUCTED IN  
THE DEPARTMENT OF ATMOSPHERIC PHYSICS OF  
M. NODIA INSTITUTE OF GEOPHYSICS, TSU IN 2014-2023**

**Amiranashvili A., Bliadze T., Kereselidze Z., Chikhladze V.**

**Abstract**

This article presents a brief overview of published scientific papers conducted with the participation of the Department of Atmospheric Physics of M. Nodia Institute of Geophysics, TSU in 2024.

**Key words:** atmospheric physics, weather modification, natural disasters, climate change, bioclimate, ecology.

**КРАТКИЙ ОБЗОР ОПУБЛИКОВАННЫХ НАУЧНЫХ РАБОТ,  
ВЫПОЛНЕННЫХ С УЧАСТИЕМ СЕКТОРА ФИЗИКИ АТМОСФЕРЫ  
ИНСТИТУТА ГЕОФИЗИКИ ИМ. М. НОДИА, ТГУ В 2024 ГОДУ**

**Амиранашвили А., Блиадзе Т., Кереселидзе З., Чихладзе В.**

**Реферат**

В статье представлен краткий обзор опубликованных научных работ, выполненных с участием сектора физики атмосферы Института геофизики им. М. Нодиа, ТГУ в 2024 г.

**Ключевые слова:** физика атмосферы, модификация погоды, стихийные бедствия, изменение климата, биоклимат, экология.

**დროითი პარამეტრების სტატისტიკური ანალიზი  
და საათობრივი კატეგორიული რიგების  
სტაციონარულობის შეფასება**

**ქირია თ., ნიკოლაიშვილი მ., ჩხაიძე თ.**

*ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის  
მიხეილ ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი*

**შესავალი**

დედამიწის მაგნიტური ველი წარმოადგენს გლობალურ გეოფიზიკურ სისტემას, რომელიც იცავს პლანეტას მზის ქარისა და მაღალი ენერჯის მქონე კოსმოსური ნაწილაკების ზემოქმედებისგან. მაგნიტოსფერო ასუსტებს და გადაამისამართებს დამუხტულ ნაწილაკებს, რითაც ამცირებს მათ გავლენას ატმოსფეროსა და იონოსფეროზე.

მაგნიტური ველის დროითი ვარიაციები გეოფიზიკის მნიშვნელოვანი კვლევითი საკითხია. ისინი განპირობებულია როგორც დედამიწის შიდა დინამიკური პროცესებით (გეოდინამო), ისე გარე ფაქტორებით, განსაკუთრებით მზის აქტივობით. მრავალი კვლევა მიუთითებს მზის აქტივობასა და გეომაგნიტურ ვარიაციებს შორის არსებულ მჭიდრო კავშირზე, თუმცა ამ ურთიერთქმედების ზუსტი მექანიზმები და მასშტაბები კვლავ აქტიური მეცნიერული შესწავლის საგნად რჩება.

**1. მეთოდოლოგია**

მოცემული კვლევა ეფუძნება დროით დისკრეტულ დაკვირვებებს რვა სხვადასხვა საათზე – 1:00, 4:00, 7:00, 10:00, 13:00, 16:00, 19:00, 22:00.

მონაცემები წარმოადგენს ხარისხობრივ კატეგორიებს, რომელთა შესაძლო მნიშვნელობებია მთელი რიცხვები 0-დან 9-მდე. მიზანია გამოვიკვლიოთ: დროითი რიგი აღვწერეთ როგორც:

$$X_t^{(h)}, h \in H, t = 1, \dots, N.$$

დღის საშუალო ინდექსი განისაზღვრა:

$$M_t = \frac{1}{8} \sum_{h \in H} X_t^{(h)}. \#(1)$$

ასევე გამოყენებულია დღის ხანგრძლივობა:

$$D_t = (\text{წუთებში}), L_t = \text{მთვარის განათება (\%)}. \#(2)$$

## 2. სტაციონარულობის ტესტირება

### 2.1. ADF ტესტი

გამოიყენება მოდელი:

$$\Delta X_t = \alpha + \beta t + \gamma X_{t-1} + \sum_{i=1}^p \phi_i \Delta X_{t-i} + \varepsilon_t. \#(2)$$

ჰიპოთეზები:

$H_0: X_t$  არის ერთეულ-ფესვიანი,  $H_1: X_t$  არ შეიცავს ერთეულ ფესვს.

ყველა სერიაზე:

$$p\text{-value} \ll 0.01,$$

რაც უარყოფს  $H_0$ -ს.

ანუ: სერიები არ არიან **random walk**.

### 2.2. KPSS ტესტი

KPSS ტესტი ამოწმებს საპირისპიროს:

$H_0$ : სერია სტაციონარულია,  $H_1$ : არასტაციონარულია. ყველა სერიაზე KPSS სტატისტიკა აღემატება კრიტიკულ ზღვარს, ამიტომ:

$H_0$  უარყოფილია.

სტაციონარულობა არ ფიქსირდება.

ორივე ტესტი მიუთითებს, რომ გვაქვს:

$$X_t = \mu(t) + Y_t,$$

სადაც  $\mu(t)$  გარდამავალი საშუალოა.

## 3. ტრენდი და სეზონურობა

### 3.1. ლინეური ტრენდის მოდელი

მიღებულია:

$$\mu(t) = \alpha + \beta D_t. \#(3)$$

შეფასებამ აჩვენა:

$$\beta > 0, R^2 \approx 0.05.$$

### 3.2. ნაშთების სტაციონარულობა

ნაშთი განისაზღვრება:

$$\hat{Y}_t = X_t - \hat{\mu}(t).$$

ADF/KPSS ტესტებზე  $\hat{Y}_t$  გაცილებით ახლოსაა სტაციონარულობასთან.

## 4. მარკოვის ჯაჭვი

რადგან  $X_t \in \{0, \dots, 9\}$ , ბუნებრივია:

$$p_{ij} = \mathbb{P}(X_{t+1} = j \mid X_t = i).$$

#### 4.1. გარდამავალი მატრიცა

ემპირიულად:

$$p_{ii} \approx 0.42 - 0.55,$$

რაც მიუთითებს ინერციულობაზე.

#### 4.2. სტაციონარული განაწილება

სტაციონარული ვექტორი:

$$\pi P = \pi.$$

გამოთვლით მიღებული  $\pi$  ემთხვევა გრძელვადიან ფრაქციებს: აქედან გამომდინარე პროცესი **ერგოდულია**.

### 5. ასტრონომიული პარამეტრების გავლენა

#### 5.1. კორელაციული კოეფიციენტები

დღის საშუალო ინდექსსა და დღის ხანგრძლივობას შორის:

$$r(M_t, D_t) \approx 0.09 - 0.10.$$

მთვარის განათებასთან:

$$r(M_t, L_t) \approx 0.04 - 0.06.$$

აისახება **სუსტი, მაგრამ ინტერპრეტირებადი კავშირი**.

### 6. ასტრონომიული პარამეტრების გავლენა

#### 6.1. კორელაცია

$$\begin{aligned} &M_t - D_t \\ r_{MD} &\approx 0.09 - 0.10 \\ &M_t - L_t \\ r_{ML} &\approx 0.04 - 0.06 \end{aligned}$$

ორი შედეგი:

1. დღის ხანგრძლივობა ახდენს სუსტ პოზიტიურ გავლენას;
2. მთვარის ფაზა – კიდევ უფრო მცირე მრღვევი ფაქტორია.

### 7. განაწილებების შედარება სეზონებს შორის

ანალიზისათვის გამოყენებულია:

- Kruskal-Wallis test – არაპარამეტრული შედარება;
- ANOVA – საშუალოების ტოლობის შემოწმება.

ორივე ტესტი მიუთითებს:

- სეზონებს შორის განაწილებები სტატისტიკურად განსხვავდება ( $p < 0.05$ ).

ეს მიუთითებს, რომ „გარე“ ფაქტორებს (დრო, სეზონი, განათება, ინდუქცია) საერთო დინამიკაზე მაინც აქვს გადაწყვეტილი არაწრფივი გავლენა.

#### დასკვნები

1. სერიები არ არის სტაციონარული, მაგრამ არ შეიცავს ერთეულ ფესვს;
  - აღწერილია ტრენდ-სტაციონარული მოდელით.



2. დღის ხანგრძლივობა წარმოადგენს სუსტ, მაგრამ თანმიმდევრულ რეგრესორულ ფაქტორს.
3. მთვარის განათების გავლენა მინიმალურია და მხოლოდ მცირე მოდულაციით გამო-  
ხატული.
4. მარკოვის მოდელი ადექვატურად აღწერს კატეგორიების გარდამავლობას და აჩვენებს  
ინერციულობას და სტაციონარულ განაწილებას.
5. სეზონებს შორის განსხვავება რეალურია და ეს კომპონენტი აუცილებელია მოდელში.
6. მოდულობისათვის საუკეთესოდ გამოდგება:

$$X_t = \alpha + \beta D_t + Y_t,$$

სადაც  $Y_t$  განისაზღვრება როგორც სტაციონარული ARMA/ARIMA ტიპის პროცესი.

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Box G. E. P., Jenkins G., Reinsel G. Time Series Analysis. Wiley, 2015.
2. Hamilton J. D. Time Series Econometrics. Princeton University Press, 1994.
3. Fuller W. A. Introduction to Statistical Time Series. Wiley, 1996.
4. Dickey D. A., Fuller, W. A. Distribution of the estimators for autoregressive time series. JASA, 1979.
5. Kwiatkowski D., Phillips P. C. B., Schmidt P., Shin, Y. Testing the null hypothesis of stationarity. Journal of Econometrics, 1999.
6. Norris J. Markov Chains. Cambridge University Press, 1997.
7. Shumway R. H., Stoffer, D. S. Time Series Analysis and Its Applications, Springer, 2017.
8. Hyndman R.J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice, 2018.

### დროითი პარამეტრების სტატისტიკური ანალიზი და საათობრივი კატეგორიული რიგების სტაციონარულობის შეფასება

ქირია თ., ნიკოლაიშვილი მ., ჩხაიძე თ.

#### რეზიუმე

სტატია წარმოგიდგინთ დისკრეტული კატეგორიული დროითი რიგების სტატისტიკურ ანალიზს. გამოყენებულია ADF და KPSS ტესტები, ტრენდ-სტაციონარული მოდელები, მარკოვის ჯაჭვების ანალიზი, სეზონურობის შეფასება და ასტრონომიულ პარამეტრებთან – დღის ხანგრძლივობასა და მთვარის განათებასთან – კორელაციული კავშირები. შედეგები აჩვენებს, რომ რიგები არ ექვემდებარებიან არც მკაცრ სტაციონარულობას, არც ერთეულ-ფესვიანობას; მათი ყველაზე სწორი აღწერა ხდება ტრენდ-სტაციონარული პროცესებით.

**საკვანძო სიტყვები:** დროითი რიგი, ტრენდ-სტაციონარული პროცესები, სტატისტიკა.

## STATISTICAL ANALYSIS OF TIME PARAMETERS AND STATIONARITY ASSESSMENT OF HOURLY CATEGORICAL SERIES

Kiria T., Nikolaishvili M., Chkhaidze T.

#### Abstract

The article presents a statistical analysis of discrete categorical time series. ADF and KPSS tests, trend-stationary models, Markov chain analysis, seasonality estimation, and correlations with astronomical parameters – day length and moonlight – are used. The results show that the series are neither strictly stationary nor unit-rooted; their most correct description is given by trend-stationary processes.

**Key words:** Time series, trend-stationary processes, statistics.

## **СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ И ОЦЕНКА СТАЦИОНАРНОСТИ ЧАСОВЫХ КАТЕГОРИАЛЬНЫХ РЯДОВ**

**Кириа Т., Николаишвили М., Чхаидзе Т.**

### **Реферат**

В статье представлен статистический анализ дискретных категориальных временных рядов. Используются тесты ADF и KPSS, тренд-стационарные модели, анализ цепей Маркова, оценка сезонности и корреляции с астрономическими параметрами – продолжительностью дня и лунным светом. Результаты показывают, что ряды не являются ни строго стационарными, ни единично-корневыми; их наиболее точное описание дается тренд-стационарными процессами.

**Ключевые слова:** Временные ряды, тренд-стационарные процессы, статистика.

## ორკორდინატიანი ფარდობითი მოძრაობის ლაზერული ხელსაწყო შემუშავება და გამოცდა ლაბორატორულ პირობებში

<sup>1</sup>ქირია ჯ., <sup>1</sup>დოვგალი ნ., <sup>1</sup>დავითაშვილი ლ.,

<sup>1</sup>ცაგურია თ., <sup>2</sup>საყვარელიძე ე.

<sup>1</sup>ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდია  
სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

<sup>2</sup>ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
kiria51@yahoo.com

ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდია სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის მსხვილ ჰიდროტექნიკურ ნაგებობებზე გეოფიზიკური მონიტორინგის ჯგუფი 2025 წელს, შპს „ენგურჰესის“ დირექციის დაკვეთით, აგრძელებს სტაციონარულ დაკვირვებებს მაღალი სიზუსტის გეოფიზიკური აპარატურით: ამერიკული წარმოების დახრისმზომები, ლაზერის ექსტენზომეტრი. ამ დაკვირვებების მიზანი არის ენგურის თაღოვანი კაშხლის ტანში და მის კლდოვან ფუძეში მიმდინარე დეფორმაციულ პროცესებზე უწყვეტი თვალყურის დევნება და მათი შეფასება. ამჟამად ენგურჰესის ყველა დახრისმზომზე, ლაზერის ექსტენზომეტრიულ სადგურებზე დაყენებულია ავტომატური ტელემეტრიული სისტემა, რომელიც თბილისში-კვლევის ცენტრში უწყვეტ რეჟიმში ავტომატურად გადმოსცემს მონაცემებს კაშხლიდან და ფუძიდან, იქ მიმდინარე დეფორმაციული პროცესების შესახებ. ენგურზე მომუშავე 8 დახრისმზომითი სადგურიდან სამ-სამი დაყენებულია: კაშხლის მე-12 და 26-ე სექციებში 360 მ, 402 მ და 475 მ ნიშნულებზე, ხოლო ერთი სადგური მე-18 სექციაში 402 მ ნიშნულზე, სულ 7 სადგური. კაშხლის ფუძეში მარცხენა სანაპიროზე გვ.№ 160-ში 1 სადგური.

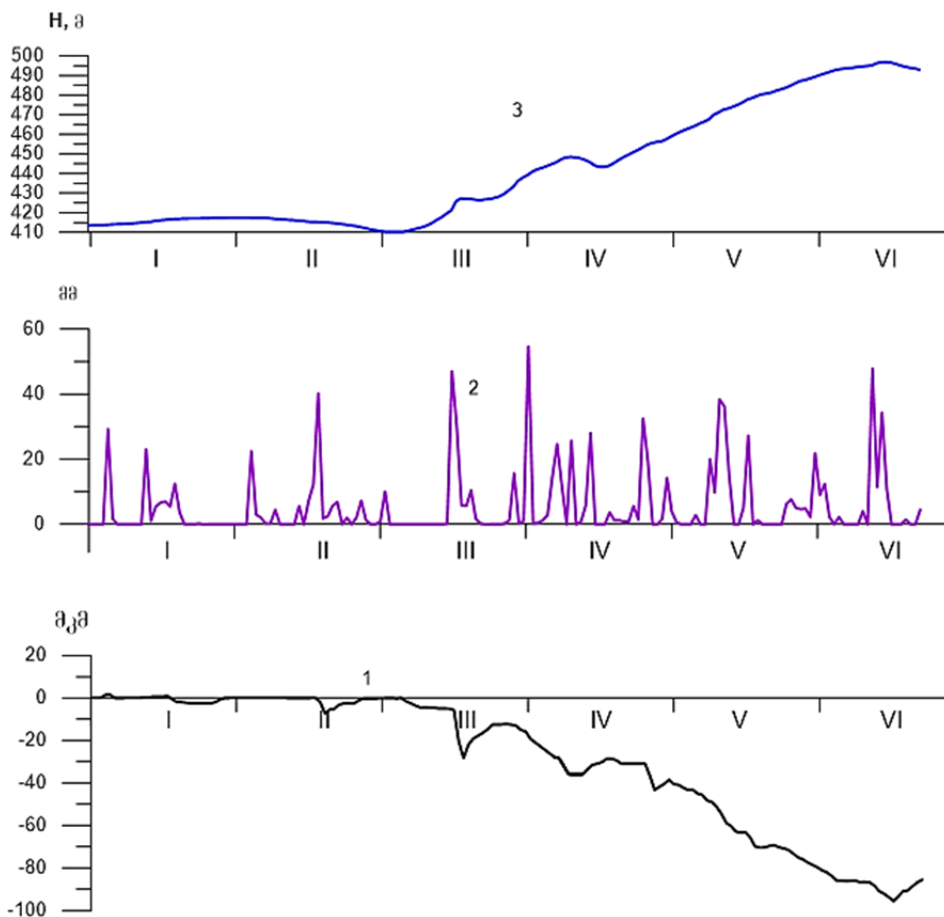
გარდა დახრისმზომთა სადგურებისა ქვედა ბიეფში მდ. ენგურის მარჯვენა სანაპიროს რღვევაზე გვ.№ 3413-ში 1974 წლიდან დამონტაჟებული იყო და მუშაობდა 22,5 მ სიგრძის კვარცის ექსტენზომეტრი (დეფორმოგრაფი), რომელიც რღვევის ბლოკების ფარდობით ჰორიზონტალურ გადაადგილებებს უწყვეტ რეჟიმში აფიქსირებდა ფოტოოპტიკური რეგისტრაციის მეთოდით. აქვე აღსანიშნავია, რომ ენგურჰესის დირექციის ფინანსური დახმარებით 2014 წ. შექმნილ იქნა ერთკორდინატიანი ლაზერული ხელსაწყო .

გვ. №3413-ში დეფორმოგრაფზე დაყენებული ლაზერიდან დანაკვირვები მასალა გადმოიცემა 1 საათიანი დროის ბიჯით, ხოლო ფუძეში N 160 გვირაბში დაყენებული დახრისმზომიდან 6 საათიანი ბიჯით.

განვიხილოთ მარჯვენა სანაპიროზე დამონტაჟებული ექსტენზომეტრის მონაცემები. როგორც ნახ. 1-დან ჩანს, A და B ბლოკების ფარდობითი გადაადგილების საერთო სვლა წყალსაცავში წყლის დონის ცვლილებასთან კორელირდება. ასევე კარგად ჩანს ნალექის გავლენით გამოწვეული გადაადგილებების ლოკალური ცვლილებები. მასალის ანალიზი-

დან ირკვევა, რომ ლაზერის ხელსაწყოს ჩანაწერზე დიდი ნალექის მოსვლის შემდეგ მიმდინარეობს ბლოკების დაახლოება, ხოლო ნალექის შეწყვეტის შემდეგ – მათი დაცილება.

პირველი იანვრიდან აპრილის თვის დასაწყისამდე A და B ბლოკების ფარდობითი გადაადგილება თითქმის არ დაიკვირვება. აპრილის თვის პირველი რიცხვებიდან იწყება კაშხალში წყლის დონის აწევა, რასაც მოყვება A და B ბლოკების დაახლოება რომლის მაქსიმალური მნიშვნელობა არის 90 მიკრონი. გასული წლის იმავე პერიოდში იყო დაახლოებით 100 მიკრონი.

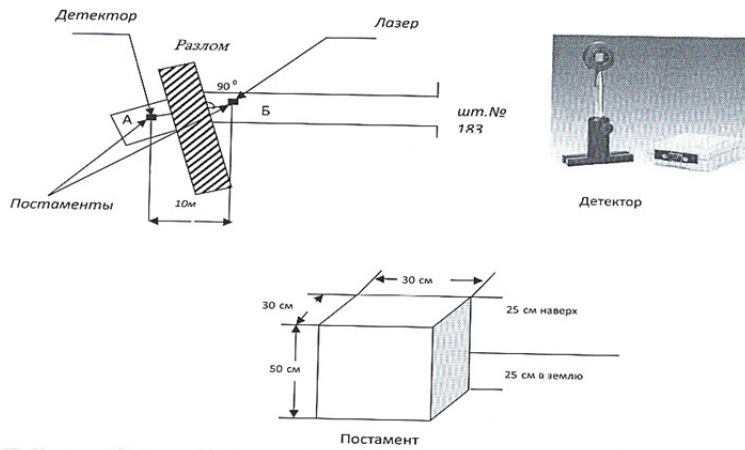


ნახ. 1 მდ. ენგურის მარჯვენა სანაპიროს რღვევის ბლოკების ფარდობითი ჰორიზონტალური გადაადგილების გრაფიკები, რომლებიც მიღებულია ლაზერის ექსტენზომეტრით (1), წვიმისა(2) და წყალსაცავში წყლის დონის ცვლილების (3) გრაფიკებთან ერთად 2025 წლის 1 იანვრიდან 30 ივნისის ჩათვლით.

საბოლოოდ შეიძლება ითქვას, რომ წყლის დონის ცვლილება იწვევს ბლოკების ფარდობით ჰორიზონტალურ მოძრაობას.

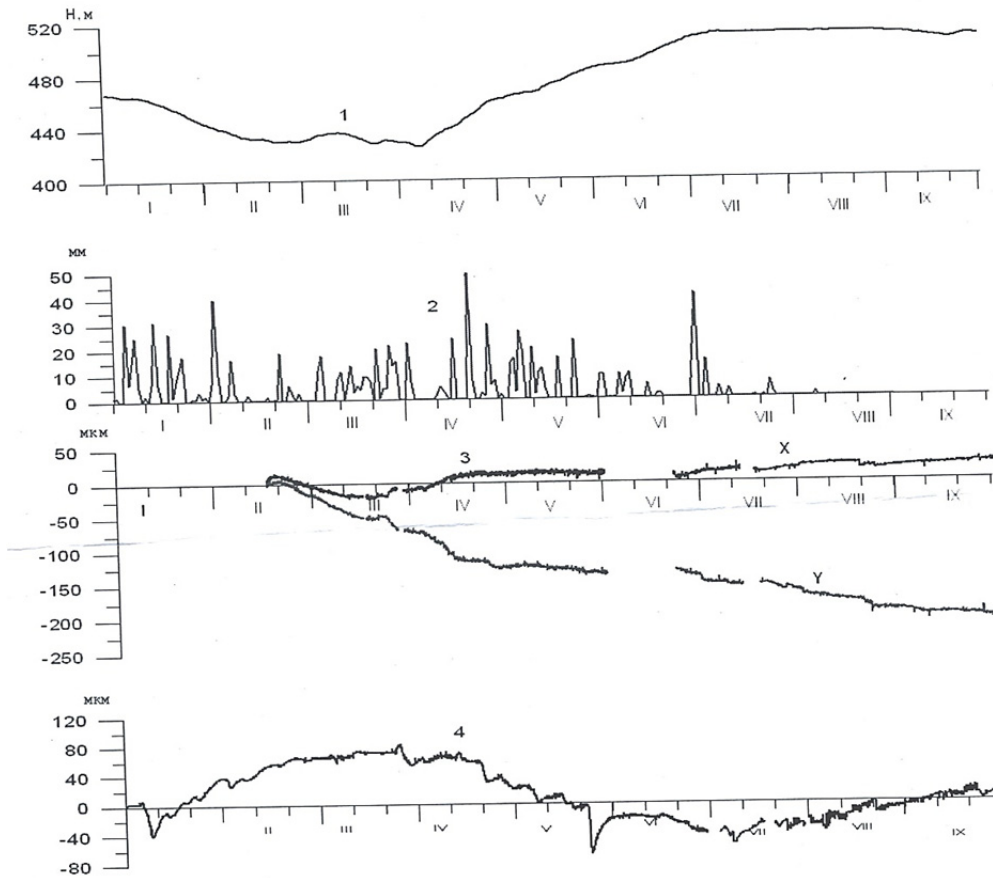
ნაპრალის ბორტების მოძრაობის უფრო დეტალურად შესწავლისათვის საჭირო გახდა ორკორდინატიანი ლაზერული ექსტენზომეტრის შემენა. ის შემენილ იქნა ენგურჰესის დირექციის მიერ 2015 წელს,

ხელსაწყო დაყენებულია ორ პოსტამენტზე და ამ პოსტამენტებს შორის გრძივ ფარდობით და ვერტიკალურ მოძრაობებს აფიქსირებს. ერთერთი პოსტამენტი დგას ნაპრალიდან დაახლოებით 11-12 მეტრის დაშორებით, მეორე პოსტამენტი მდებარეობს ნაპრალისა და მეორე ბლოკის შესაყარზე ნახ. 2.



ნახ.2 გვ. № 183 მარჯვენა სანაპიროს რღვევაზე, ბეტონის პოსტამენტზე დამონტაჟებული ლაზერული ექსტენზომეტრის განლაგების სქემა

ნახ. 3-ზე ასახულია ამ ხელსაწყოს მიერ დაკვირვებული 2016 – 2017 წლების მასალა. როგორც ნახაზიდან ჩანს, ადგილი აქვს ნაპრალის ბლოკების როგორც ჰორიზონტალურ ასევე ვერტიკალურ მოძრაობებს. ამ ხელსაწყოს საშუალებით დაკვირვებები წარმოებდა 2020 წლამდე. ხელსაწყოს ექსპლუატაციის ვადის ამოიწურვის გამო საჭირო გახდა მისი შეცვლა.



ნახ. 3. წყალსაცავის ავსების გრაფიკი (1), ატმოსფერული ნალექები (2), ლაზერული ხელსაწყოს ჰორიზონტალური (3) და ვერტიკალური (4) კომპონენტები.

რადგან ნაპრაღზე დაიკვირვება ბორტების მოძრაობები, საჭირო გახდა შემდეგშიც გაგრძელებულიყო ეს დაკვირვებები. ამისთვის საჭირო იყო მწყობრიდან გამოსული ხელსაწყო შეგვეცალა მისი ანალოგიურით.

გეოფიზიკის ინსტიტუტის ფარგლებში შეიქმნა ანალოგიური ლაზერული ორ-კორდი-ანატიანი ხელსაწყო.

ამ ხელსაწყომ გაიარა ინსტიტუტში ლაბორატორიული გამოცდა და აჩვენა კარგი შედეგები. ხელსაწყოზე მონაცემების აღება შეიძლება როგორც ვიზუალურად (ტესტერით) ასევე ავტომატური გადაცემის საშუალებით.

## **ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА**

1. აბაშიძე ვ., ცაგურია თ., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ. ენგურის თაღოვანი კაშხლისა და ფუძის გეოფიზიკური კვლევები – სტაციონარული დაკვირვებები კაშხლის ტანში და ფუძეში გადაადგილებებსა და დეფორმაციებზე დახრისმზომითი და დეფორმოგრაფიულ-ექსტენზომეტრიული მეთოდების გამოყენებით. 2017 წლის სამეცნიერო-ტექნიკურიანგარიში. თბილისი, 2017, 25 გვ. (გეოფიზიკის ინსტიტუტის ფონდები).
2. აბაშიძე ვ., ჭელიძე თ., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ. ენგურის თაღოვანი კაშხლის ტანის და მის ფუძეში გამავალი რღვევის ბლოკების დინამიკა სტაციონალური გეოფიზიკური დაკვირვებების მონაცემების მიხედვით. მ.ნოდისას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები ტ. LXIX, 2018.
3. ჭელიძე თ., ქირია ჯ., ცაგურია თ., ქირია თ., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ. ენგურის კაშხლის მარჯვენა სანაპიროზე მდებარე ნაპრაღში მიმდინარე პროცესების შესწავლა ორკორდინატიანი ლაზერული ექსტენზომეტრის წინასწარი მონაცემების საფუძველზე. მ.ნოდისას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ტ. LXX, 2019.

## **ორკორდინატიანი ფარდობითი მოძრაობის ლაზერული ხელსაწყოს შემუშავება და გამოცდა ლაბორატორულ პირობებში**

**ქირია ჯ., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ., ცაგურია თ., საყვარელიძე ე.**

### **რეზიუმე**

ენგურის ჰიდროელექტროსადგურზე დამონტაჟებული ლაზერული ინსტრუმენტის ექსპლუატაციის ვადის ამოწურვისა და ნაპრაღზე ბორტების მოძრაობის დაკვირვების გამო, საჭირო გახდა მონიტორინგის გაგრძელება. ამან მოითხოვა გაუმართავი ინსტრუმენტის მსგავსით შეცვლა. მსგავსი ორკორდინატული ლაზერული ინსტრუმენტი შემუშავდა გეოფიზიკის ინსტიტუტში. ამ ინსტრუმენტმა გაიარა ლაბორატორიული ტესტირება ინსტიტუტში და აჩვენა კარგი შედეგები. ინსტრუმენტიდან მონაცემების შეგროვება შესაძლებელია როგორც ვიზუალურად (ტესტერის გამოყენებით), ასევე ავტომატური ტრანსმისიის საშუალებით.

**საკვანძო სიტყვები:** ენგურის ჰიდროელექტროსადგური, ფარდობითი ფარდობითი მოძრაობა, ორკორდინატიანი ხელსაწყო.

## **DEVELOPMENT AND TESTING OF A TWO-COORDINATE RELATIVE MOTION LASER DEVICE UNDER LABORATORY CONDITIONS**

**Kiria J., Dovgal N., Davitashvili L., Tsaguria T., Sakvarelidze E.**

### **Abstract**

Since the laser device installed at the Inguri HPP has expired and since the movements of the boards are observed on the crack, it became necessary to continue these observations in the future. For this, it was necessary to replace the malfunctioning device with an analogue. A similar laser two-coordinate device was created within the framework of the Institute of Geophysics. This device passed laboratory tests at the Institute and showed good results. Data can be collected on the device both visually (with a tester) and by automatic transmission.

**Keywords:** Inguri Hydroelectric Power Station, relative motion, two-coordinate laser device.

## **РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ ДВУХКООРДИНАТНОГО ЛАЗЕРНОГО УСТРОЙСТВА ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ**

**Кирия Дж., Довгаль Н., Давиташвили Л., Цагурия Т., Сакварелидзе Е.**

### **Реферат**

В связи с тем, что у лазерного прибора, установленный на Ингури ГЭС, истёк срок службы, и наблюдаются подвижки досок на трещине, возникла необходимость в дальнейшем продолжении наблюдений. Для этого потребовалось заменить неисправный прибор на аналог. Аналогичный лазерный двухкоординатный прибор был создан в рамках Института геофизики. Данный прибор прошёл лабораторные испытания в институте и показал хорошие результаты. Данные с прибора можно собирать как визуально (с помощью тестера), так и с помощью автоматической передачи.

**Ключевые слова:** Ингури ГЭС, относительное перемещение, двухкоординатный лазерный прибор.

## მდინარე კაბალზე დაგეგმილი კაბალი ჰესის ნაგებობათა განსათავსებელ ადგილებზე ჩატარებული გეოფიზიკური კვლევის შედეგები

ჯახუტაშვილი მ., თარხან-მოურავი ა.

*ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის  
მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი*

სტატია ეხება მდ. კაბალზე „კაბალი 1“ ჰესის საპროექტო უბანზე, 30 მ სიღრმემდე, გრუნტის ამგები ქანების სახეებისა და მათი სიმძლავრეების დადგენის მიზნით განხორციელებულ ელექტროსადიებო კვლევის შედეგებს.

ტექტონიკური თვალსაზრისით საკვლევი უბანი დიდი კავკასიონის სამხრეთი ფერდის ფარგლებშია და ყაზბეგ-ლაგოდეხის ზონას ეკუთვნის.

გეოლოგიური აგებულების თვალსაზრისით ხეობის ეს ნაწილი ქვედა, შუა და ზედა იურული ასაკის დანალექი და ვულკანოგენურ-დანალექი წარმოშობის ქანების (ფიქლების სერიით) მორიგეობით არის წარმოდგენილი, რომელშიც ხშირია დიაბაზური და პორფირიტული შედგენილობის გამკვეთი სხეულები და სილები.

მდინარე კაბალის ხეობის გასწვრივ, ორივე მხარის ფერდობებზე, ზოგიერთ ადგილას განვითარებულია მცირე აკუმულაციური ტერასები და მეწყრული უბნებიც, რომლებიც წარმოდგენილია დიდი, უხეშად დამუშავებული ლოდნართა და დელუვიურ-ალუვიური ნალექების ერთობლიობით. ლითოლოგიურად დელუვიური ნალექები წარმოდგენილია ღია ნაცრისფერი თიხა-თიხოვან-ნიადაგიანი მასალის შემცველი ნარევით. ალუვიური ნალექები წარმოდგენილია სხვადასხვა ზომის და რაოდენობის ქვიშა-ლამიან-ხრეშოვანი, თიხოვანი და კაჭარ-კენჭნარი მასალის ნარევით. ალუვიურ ნალექებში ხშირად გამოერევა ქვედა იურული ასაკის კვარცის ძარღვებით გაჯერებული, ასევე დიაბაზების და პორფირიტული შედგენილობის დიდი, საშუალო და მცირე ზომის ლოდნარი მასალა.

ამოცანის გადასაწყვეტად ჩატარდა ელექტროსადიებო კვლევები მუდმივი დენის ელექტრული ზონდირების (ვეზ) მეთოდით. მეთოდი დაფუძნებულია დღიურზედაპირზე ხელოვნურად შექმნილი ელექტრომაგნიტური ველების გამოყენებაზე, რაც საშუალებას იძლევა ქანების ლითოლოგიური დეფერენციაცია განხორციელდეს კუთრი ელექტრული წინააღობის სიღრმეში ცვლილების მიხედვით. კვლევა ჩატარდა შლუმბერგეს სიმეტრიული ოთხელექტროდიანი დანადგარით, მკვებავი ელექტროდების მაქსიმალური გამართობით  $AB/2=40$ მ, რაც საშუალებას იძლეოდა ზონდირება განხორციელებულიყო 30 მეტრ სიღრმემდე.

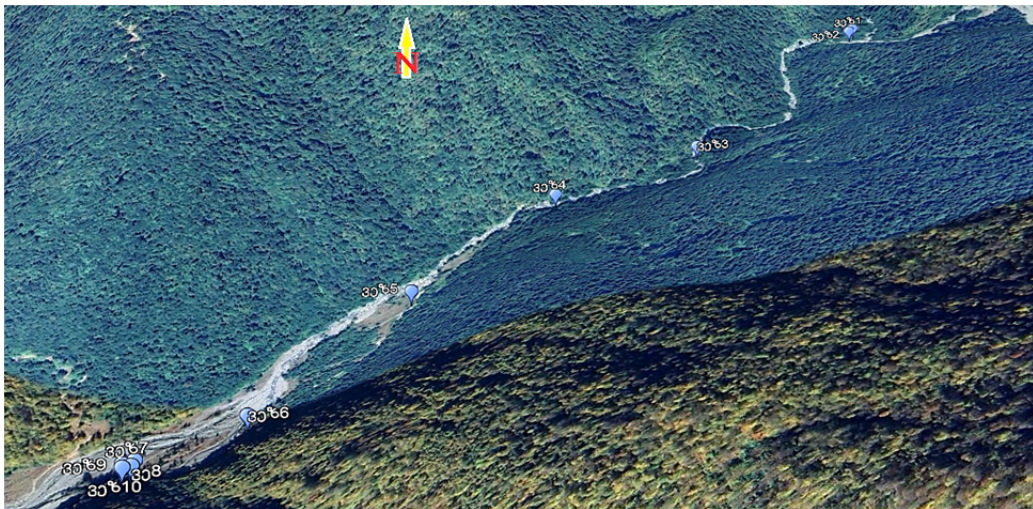
შერჩეულ წერტილებში ჩატარებულ იქნა ვერტიკალური ელექტრული ზონდირება (ვეზ). (ნახ. 1).

მოჩვენებითი კუთრი ელექტრული წინააღობის  $\rho_a$ (ომმ) რიცხვითი მნიშვნელობების ანალიზის საფუძველზე თითოეული ელექტრული ზონდირების წერტილისთვის აგებულია ამ წინააღობის  $\rho_a$ (ომმ) სიღრმის მიხედვით ცვლილების მრუდი.



მიღებული კუთრი ელექტრული წინაღობის მრუდიების გეოლოგიური გაშიფრვა განხორციელდა მ. პილაევის თეორიული პალეტებით, აგრეთვე მიღებული მონაცემების ხარისხობრივი ინტერპრეტაციის შედეგების გათვალისწინებით. სპეციალური კომპიუტერული პროგრამის (IPI2WIN) გამოყენებით განხორციელებულია ვერტიკალური ელექტრული ზონდირების მონაცემთა რაოდენობრივი ინტერპრეტაცია, რომლის შედეგების გამოყენებით საკვლევი წერტილებისთვის აგებულ იქნა წინაღობათა განაწილებისა და მათი შესაბამისი გეოელექტრული ჭრილები.

ვერტიკალური ელექტრული ზონდირება (ვეზ) ჩატარდა 10 წერტილში, რომელთა მდებარეობა ნაჩვენებია ნახ.1-ზე, ხოლო კოორდინატები მოცემულია ცხრილში.



ნახ.1. კაბალი 1 ჰესის უბანი, დაკვირვების წერტილების (ვეზ) მდებარეობა აეროფოტოზე

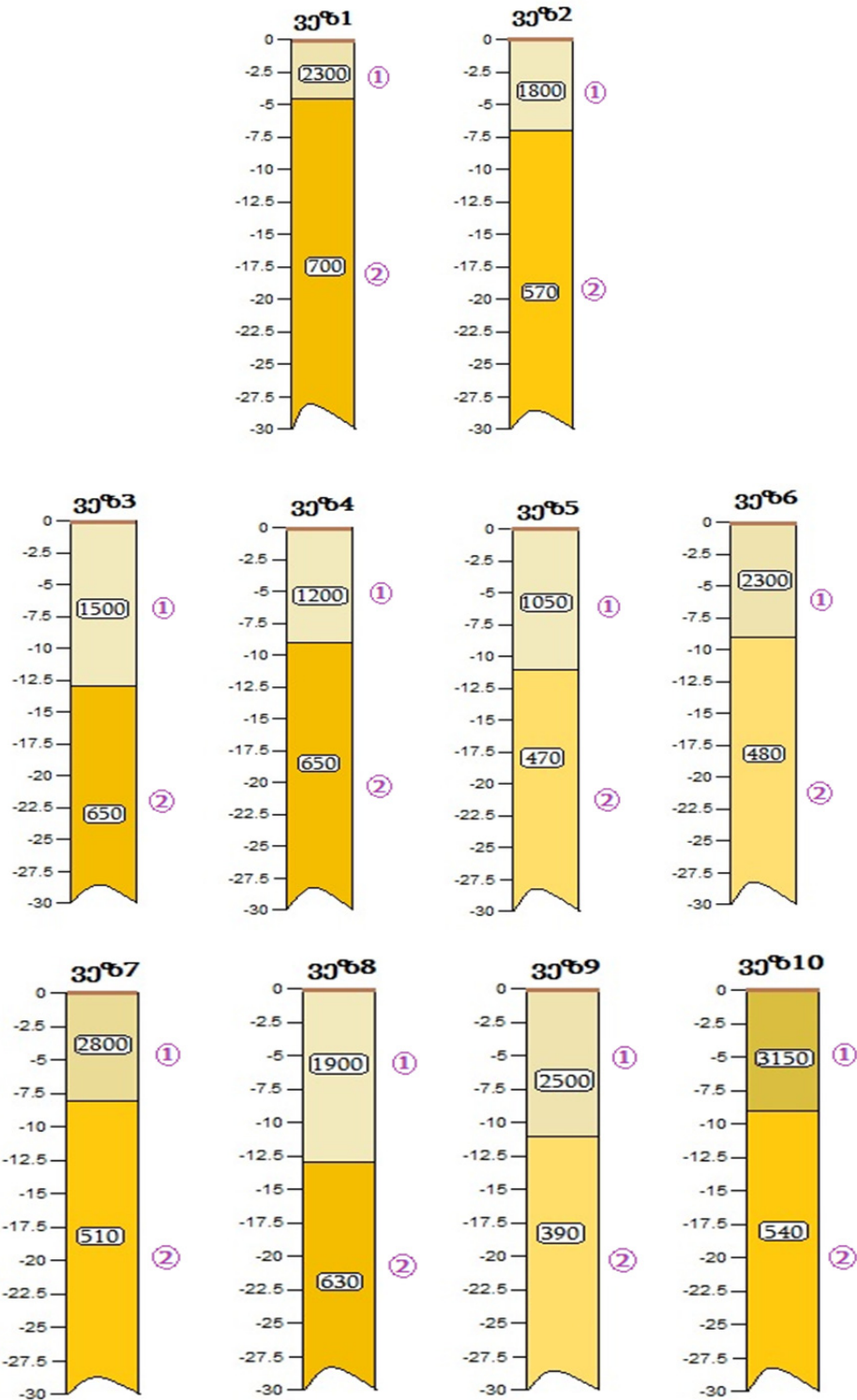
#	Y	X	H, მ
ვეზ 1	599116	4643767	829
ვეზ 2	599104	4643756	828
ვეზ 3	598671	4643158	754
ვეზ 4	598338	4642973	721
ვეზ 5	598048	4642638	664
ვეზ 6	597797	4642254	640
ვეზ 7	597625	4642146	614
ვეზ 8	597625	4642129	616
ვეზ 9	597610	4642126	615
ვეზ 10	597606	4642138	613

მიღებული საველე მასალის – მოჩვენებითი კუთრი ელექტრული წინაღობის რიცხვითი მნიშვნელობების ანალიზის საფუძველზე ზონდირების შედეგად ძირითადად გამოიყო ორფენიანი გარემო.

ფენი – სხვადასხვა რაოდენობისა და ზომის კაჟარ-კენჭნარისა და ლამიანი მასალის ნარევი და სხვადასხვა სიდიდის ძირითადი ქანების ნამსხვრევების ჩანართები,

- ① გაწყლიანებული ( $\rho_a = 1200 - 3150$  ომმ),
- ② ფენი – ძირითადი ქანი ( $\rho_a = 390 - 700$  ომმ).

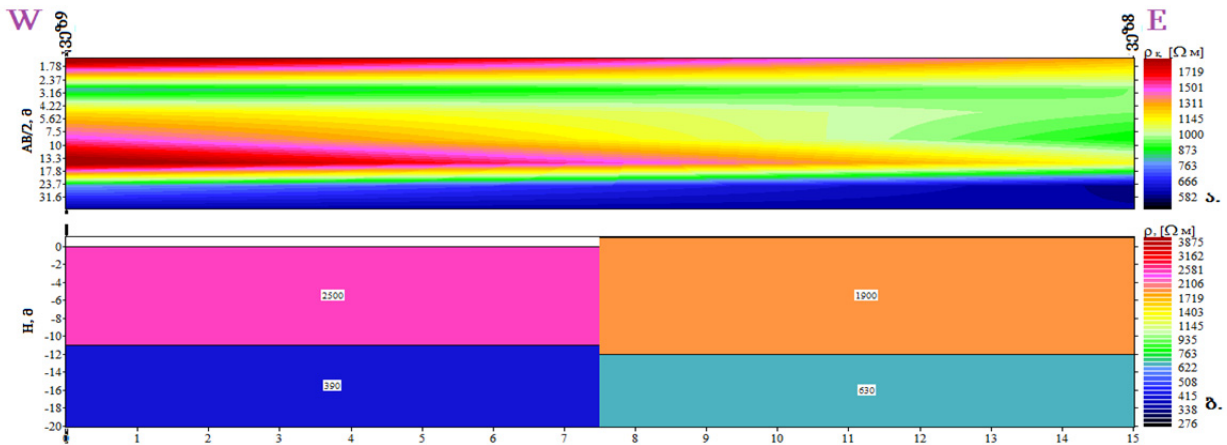
ნახ. 2-ზე მოცემულია ვეზის წერტილების გეოელექტრული სვეტები



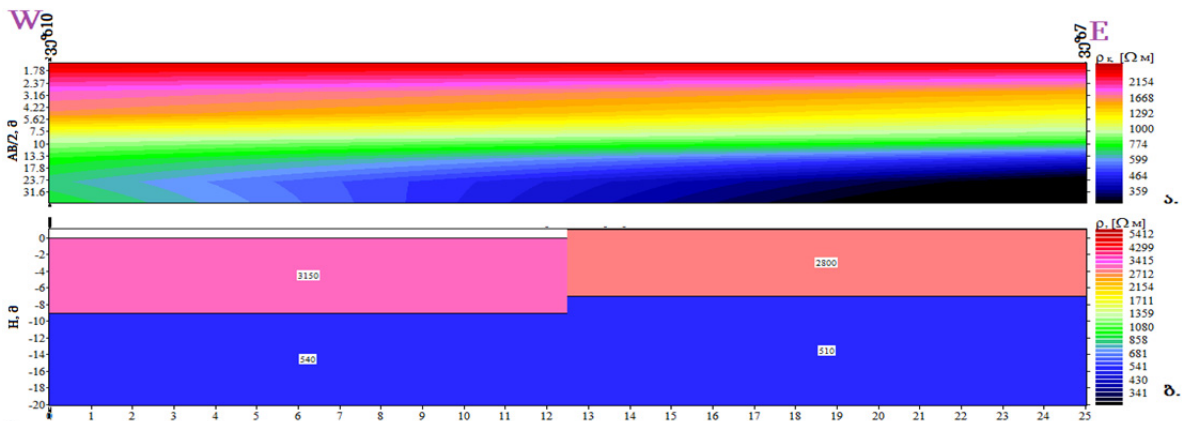
ნახ. 2. ვეზის წერტილების გეოელექტრული სვეტები

ყველა დაკვირვების წერტილში (ვეზ1 – ვეზ10) დღიური ზედაპირის სიახლოეს (0,3-0,5) მეტრიდან ფიქსირდება ტენზომეტრული გარემოს არსებობა.

ნახ. 3 და 4-ზე მოცემულია ვეზის წერტილების გასწვრივ წინაღობათა განაწილება და შესაბამისი გეოელექტრული ჭრილები.



ნახ. 3. (ა) მოჩვენებითი კუთრი ელექტრული წინაღობების განაწილება და (ბ) გეოელექტრული ჭრილი – ვეზ8-ვეზ9-ის გასწვრივ.



ნახ. 4. (ა) მოჩვენებითი კუთრი ელექტრული წინაღობების განაწილება და (ბ) გეოელექტრული ჭრილი – ვეზ10-ვეზ7-ის გასწვრივ.

## დასკვნა

კვლევის შედეგების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ძირითადად გამოვლენილია ფიზიკური თვისებებით ერთმანეთისაგან განსხვავებული ორი ფენი:

**ფენი 1** – ალუვიური მასალა სხვადასხვა რაოდენობისა და ზომის კაჟარ-კენჭნარისა და ლამიანი მასალის ნარევით და სხვადასხვა სიდიდის ძირითადი ქანების ნამსხვრევების ჩანართებით, გაწყლიანებული ( $\rho_a = 1200 - 3150$  ომმ),

**ფენი 2** – ძირითადი ქანი ( $\rho_a = 390 - 700$  ომმ).

ჩატარებული გეოფიზიკური კვლევის შედეგები საშუალებას გვაძლევს ელექტროდიება, როგორც დამხმარე მეთოდი წარმატებით გამოვიყენოთ დასმული საინჟინრო-გეოლოგიური ამოცანების გადასაწყვეტად.

მიღებული კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით კარგად ხდება გაწყლიანებული – ალუვიური ნალექებისა და ძირითადი ქანების, გამყოფი ზედაპირების და მათი ჩაწოლის სიღრმეების დადგენა.

**მდინარე კაბალზე დაგეგმილი კაბალი ჰესის ნაგებობათა განსათავსებელ ადგილებზე  
ჩატარებული გეოფიზიკური კვლევის შედეგები**

**ჯახუტაშვილი მ., თარხან-მოურავი ა.**

**რეზიუმე**

ნაშრომში გახილულია მდ. კაბალზე „კაბალი1“ ჰესის საპროექტო უბანზე, 30 მ სიღრმემდე, გრუნტის ამგები ქანების სახეებისა და მათი სიმძლავრეების დადგენის მიზნით განხორციელებული 3 ელექტროსადიებო კვლევის შედეგები. კვლევის შედეგად გამოვლენილია ფიზიკური თვისებებით ერთმანეთისაგან განსხვავებული ორი ფენი. დადგენილია ძირითადი ქანების ჩაწოლის სიღრმეები.

**საკვანძო სიტყვები:** ელექტრომიება, მთის ქანები, კაბალის ჰიდროელექტროსადგური.

**RESULTS OF GEOPHYSICAL SURVEYS CONDUCTED AT THE LOCATIONS  
OF THE PLANNED KABALI HPP STRUCTURES ON THE KABALI RIVER**

Jakhutashvili M., Tarkhan-Mouravi A.

**Abstract**

The paper presents the results of an electrical exploration study conducted to determine the types of ground-forming rocks and their thicknesses at a depth of up to 30 m at the project site of the Kabali 1 HPP on the Kabali River. The research revealed two layers with different physical properties. The depths of the bedrock have been determined.

**Keywords:** electrical prospecting, rocks, Kabali hydroelectric power station.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ПЛАНИРУЕМЫХ  
СООРУЖЕНИЙ КАБАЛЬСКОЙ ГЭС НА РЕКЕ КАБАЛИ**

Джахуташвили М., Тархан-Моурави А.

**Аннотация**

В статье представлены результаты электроразведочных работ, проведенных для определения типов горных пород и их толщины на глубине до 30 м на площадке строительства ГЭС «Кабали-1» на реке Кабали. Исследование выявило два слоя с различными физическими свойствами. Была определена глубина залегания коренных пород.

**Ключевые слова:** электроразведка, горные породы, Кабали ГЭС.

## ინფორმაცია ინსტიტუტის სამეცნიერო ბიბლიოთეკის შესახებ

ინსტიტუტს გააჩნია საკმაოდ მდიდარი სამეცნიერო ბიბლიოთეკა, რომლის ფონდი შეადგენს სამამულო და უცხოური წიგნებისა და ჟურნალების 56000-ზე მეტ დასახელებას. ბიბლიოთეკას აქვს სპეციალიზებული კატალოგები და კარტოტეკები. ბიბლიოთეკა ყოველწლიურად გასცემდა 30000 წიგნსა და ჟურნალს, აწარმოებდა ინსტიტუტის გამოცემათა გაცვლას საბჭოთა კავშირისა და უცხოეთის მონათესავე დაწესებულებათა ბიბლიოთეკებთან, 1917 წლიდან გამოსცემდა ინსტიტუტის თანამშრომელთა ბიობიბლიოგრაფიებს გეოფიზიკის დარგში (იხილეთ „გეოფიზიკის ინსტიტუტი – 50“. „მეცნიერება“. 1983. გვ. 135).

1992 წლისთვის ბიბლიოთეკაში ირიცხებოდა დაახლოებით 67500-მდე ბეჭდვითი ერთეული, მათ შორის 27200 წიგნი და 40300 პერიოდული გამოცემა. გარდა გეოფიზიკური დარგის გამოცემებისა, ბიბლიოთეკას შეეძლო გამოეწერა საკავშირო და რესპუბლიკური პოპულარული ჟურნალ-გაზეთები. ათეული წლების მანძილზე ბიბლიოთეკას ერთგულად და სანიმუშოდ ემსახურებოდნენ შესანიშნავი ქალბატონები: ბიბლიოთეკის გამგე ლეილა კალანდაძე (მანამდე იყო ბელა სვანიძე) და ბიბლიოთეკარები ლორა გოგლიჩიანი და ლია ანდლულაძე.

1989 წლიდან, საქართველოში არსებულ პოლიტიკურ მოვლენებთან დაკავშირებით, მკვეთრად შეიცვალა რესპუბლიკის ეკონომიური მდგომარეობა, ეს მოვლენა ინსტიტუტსაც დაეტყო. შემცირდა თანამშრომელთა რაოდენობა თითქმის სანახევროდ, უსახსრობის გამო შეწყდა საგამომცემლო საქმიანობა, მათ შორის ვედარ დაფინანსდა ინსტიტუტისთვის ტრადიციული შრომათა კრებულის გამოქვეყნება, 1989 წელს გამოვიდა ბოლო 56-ე ტომი, გაუარესდა სამუშაო პირობები, აღარ თბებოდა ბიბლიოთეკა და სხვადასხვა მიზეზებით ბიბლიოთეკა დატოვეს ლ. კალანდაძემ და ლ. გოგლიჩიანმა.

ბიბლიოთეკისთვის ასეთ გაუსაძლის პერიოდში ინსტიტუტის დირექტორს, პროფესორ თამაზ ჭელიძეს ყოველი მივლინებიდან ჩამოჰქონდა გეოფიზიკური დარგის უამრავი უცხოური ჟურნალები, რომლებსაც მას, როგორც დიდი ავტორიტეტის მქონე მეცნიერს, უსახსოვრებდნენ უცხოელი კოლეგები. ამავე პერიოდში ბატონმა თამაზმა გაითვალისწინა რა თანამშრომელთა ფინანსური მდგომარეობა, თავისი ინიციატივით, როგორც საქართველოს გეოფიზიკური საზოგადოების თავმჯდომარემ, 1995 წელს დააარსა ინსტიტუტში გეოფიზიკური საზოგადოების ინგლისურენოვანი ჟურნალი, რითაც საშუალება მისცა თანამშრომლებს უფასოდ გამოექვეყნებინათ სამეცნიერო სტატიები და მონოგრაფიები. აღნიშნული ჟურნალი გამოდიოდა ყოველწლიურად ორი სერიის სახით, ერთი – დედამიწის ფიზიკის დარგში, მეორე – ატმოსფეროს, ოკეანისა და კოსმოსური პლაზმის ფიზიკის დარგში. სულ გამოვიდა 34 ტომი. ამჟამად გამოდის ჟურნალის ელექტრონული ვერსია. 2002 წლიდან განახლდა ინსტიტუტის შრომათა კრებულის გამოცემა. 2002 წელს დაიბეჭდა LVII ტომი. კრებული უკვე გამოდის ყოველწლიურად, შეფერხების გარეშე, 2025 წელს გამოვიდა LXXVIII ტომი.

2015 წელს, ბიბლიოთეკარ ლ. ანდლულაძის გარდაცვალების შემდეგ მის ადგილას დაინიშნა ინსტიტუტის ყოფილი თანამშრომელი დალი გრძელიშვილი. ის დიდი სიყვარულითა და ენთუზიაზმით შეუდგა საქმეს, მაგრამ მძიმე ავადმყოფობის გამო ვერ შესძლო მუშაობის გაგრძელება. ამის შემდეგ ბიბლიოთეკამ ორჯერ შეიცვალა ადგილმდებარეობა, რამაც გამოიწვია მდგომარეობის გაუარესება: დაიკარგა წიგნები, აღრიცხვის ჟურნალები, ავტორეფერატები და სხვა ნივთები... ამჟამად ის განთავსებულია ერთ დარბაზში. საბიბლიოთეკო საქმიანობის აღდგენა-მოწესრიგება დაევალა ინსტიტუტის ლაბორანტს ეთერ ბაღათურას, რომელიც დიდი პასუხისმგებლობით შეუდგა დავალების შესრულებას. მან შესძლო ინსტიტუტის საექსპედიციო და გეოფიზიკური მეცნიერების სხვადასხვა დარგის ანგარიშებისა და ინსტიტუტის გამოცემების წესრიგში მოყვანა. 2018 წლიდან ბიბლიოთეკის გამგედ დაინიშნა ბიბლიოთეკარ-სპეციალისტი ირმა ლლონტი, რომელსაც საქართველოს სამეცნიერო ბიბლიოთეკაში სათანადო ტრენინგის გავლის შემდეგ გეოფიზიკის ინსტიტუტში ეკავა საბიბლიოთეკო საქმის სპეციალისტის პოზიცია. მან შეადგინა სამეცნიერო შრომებისა და დისერტაციების ელექტრონული კატალოგი. ამჟამად წარმატებით გრძელდება ინსტიტუტის სამეცნიერო ბიბლიოთეკის ფუნქციონირება.

## ი უ ბ ი ლ ე ე ბ ი

## Ю Б И Л Е И

### ოთარ ვარაზანაშვილი



მიმდინარე წელს 75 წელი შეუსრულდა ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა აკადემიურ დოქტორს, ინსტიტუტის სეისმოლოგიის, სეისმური საშიშროებისა და კატასტროფების რისკის სექტორის მთავარ მეცნიერ თანამშრომელს ოთარ ვარაზანაშვილს. ის დაიბადა 1950 წლის 3 მარტს ქ. თბილისში. 1971 წელს დაამთავრა ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტი გეოფიზიკოსის სპეციალობით. იმავე წლიდან ის გეოფიზიკის ინსტიტუტის თანამშრომელია. ო. ვარაზანაშვილი სხვადასხვა დროს იყო ინსტიტუტის მთაწმინდის სეისმური სადგურის გამგე, სეისმური საშიშროების ლაბორატორიის ხელმძღვანელი, 1973-1977 წწ. იყო რეგიონული სეისმოლოგიის განყოფილების ასპირანტი, 1979 წელს დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია თემაზე „ძლიერი მიწისძვრების ჰიპოცენტრული ზონების გამოყენება კავკასიის სეისმური დარაიონების ამოცანაში“. 2012 წლიდან დღემდე მთავარი მეცნიერ თანამშრომელია.

1981-2024 წლებში ო. ვარაზანაშვილის ხელმძღვანელობით და მონაწილეობით საქართველოს ტერიტორიაზე შესრულდა 60-მდე უმნიშვნელოვანესი ობიექტების მშენებლობის ტერიტორიების დეტალური სეისმური საშიშროების და რისკის შეფასება (თბილისის, ბათუმისა და საქართველოს სხვა ქალაქების განაშენიანების ტერიტორიები; მტკვრის, ბახვის და სხვა ჰესების მშენებლობის მოედნები; ყარსი-ახალქალაქი – თბილისის რკინიგზის მაგისტრალი, გარდაბნის ჰესის ახალი ენერგობლოკების მოედანი და სხვა უნიკალური ობიექტები). ო. ვარაზანაშვილი 1991 წლიდან უშუალოდ მონაწილეობდა საქართველოს სეისმური დარაიონების რუკების შექმნაში, ბოლო წლებში მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა საქართველოს ტერიტორიაზე მომხდარი ისტორიული მიწისძვრების შესწავლაში, სეისმური კერების ზონების მოდელის შექმნაში, სეისმური საშიშროებისა და რისკის საკითხების კვლევაში. მან პირველმა დაამუშავა საქართველოს ტერიტორიაზე მომხდარი სხვადასხვა ტიპის ბუნებრივი კატასტროფების მსგავსებისა და პარამეტრული უნიფიცირების თეორიული საკითხები, რასაც საბოლოო ჯამში მოჰყვა საქართველოში ყველაზე უფრო გავრცელებული ბუნებრივი კატასტროფების მრავლობითი რისკების გათვლა ნაციონალურ დონეზე. 2022-25 წლებში ო. ვარაზანაშვილის ხელმძღვანელობით შეიქმნა და გამოქვეყნდა საქართველოს ბუნებრივი საშიშროების მოვლენების (მეწყერი, ღვარცოფი, წყალმოვარდნა, გრიგალური ქარი, სეტყვა) მონაცემთა ბაზა (GeNHs), რომელიც მოიცავს მოვლენების პარამეტრულ კატალოგებს. ახალ მონაცემთა ბაზის საფუძველზე შესწავლი-

ლია ამ მოვლენების გავრცელებისა და განმეორებადობების კანონზომიერებები, აგებულია მათი საშიშროების რუკები. ეს შედეგები ინოვაციურია, რადგან ფარავს მთელ ქვეყანას და შეიძლება გამოყენებულ იქნას დაინტერესებული მხარეების მიერ ამ მოვლენების ეფექტური და ქმედითი შემარბილებელი ღონისძიებების გასატარებლად.

2015 წელს ოთარ ვარაზანაშვილს მიენიჭა საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის პროფესორ მიხეილ ნოდის სახელობითი პრემია.

ო. ვარაზანაშვილი ასზე მეტი სამეცნიერო ნაშრომის (მათ შორის ოთხი მონოგრაფიის) ავტორია, რომელთა უმეტესობა გამოქვეყნებულია სხვადასხვა საერთაშორისო რეიტინგულ ჟურნალებში, მონაწილეა თხუთმეტამდე საერთაშორისო და ეროვნული პროექტებისა. დაჯილდოებულია საქართველოს ღირსების მედლით და უნივერსიტეტის საპატიო მედლით. ბატონ ოთარს ვუსურვებთ ჯანმრთელობას, დიდხანს სიცოცხლეს და დიდ წარმატებებს სამეცნიერო ასპარეზზე.

## ლიტერატურა

1. ო. ვარაზანაშვილის სამეცნიერო საქმიანობის ანგარიში.

**Отар Шалвович Варазанашвили** – академический доктор физико-математических наук, с 2012 года главный научный сотрудник сектора Сейсмологии, сейсмической опасности и риска катастроф Института геофизики им. М.З. Нодиа, родился 3 марта 1950 года в г. Тбилиси. В 1971 году закончил физический факультет Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили (ТГУ). С того же года – сотрудник Института геофизики АН Грузии. В разные годы занимал должности заведующего Мтацминдской сейсмической станцией, руководителя лаборатории Сейсмической опасности. В 1979 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук по теме «Очаговые зоны сильных землетрясений в задаче сейсмического районирования Кавказа» (Руководитель доктор физ.-мат. наук Н.В. Шебалин).

Основная научная деятельность О. Ш. Варазанашвили: детальная оценка сейсмической опасности территорий строительства в Грузии важнейших (уникальных) объектов (городов, ГЭС-ов, железнодорожных магистралей и т.д.), составление карт сейсмического районирования Грузии, изучение сильных исторических землетрясений, происшедших на территории Грузии, создание моделей зон сейсмических очагов, исследование проблем сейсмической опасности и риска. В 2022-2025 годах под руководством О.Ш. Варазанашвили создана и опубликована первая база данных (GeNHs) природных катастроф Грузии (параметрические каталоги пяти явлений: оползней, селей, наводнений, ураганных ветров и града). На основе этой базы изучена закономерность распространения и повторяемости этих явлений и составлены соответствующие карты опасностей, которые могут быть применены при предупреждающих эти явления мероприятиях.

О.Ш. Варазанашвили автор около ста научных работ, в том числе четырех монографий, награжден медалью Чести Грузии и Почетной медалью ТГУ. В 2025 году Отару Варазанашвили присуждена премия им. профессора Михаила Нодиа. Отару Шалвововичу желаем всех благ, здоровья, долгих лет жизни, больших творческих успехов.



## ალექსანდრე სურმავა



ალექსანდრე ალექსანდრეს-ძე სურმავა დაიბადა 1945 წლის 15 ოქტომბერს.

1963 წელს დაამთავრა ქ. თბილისის 23-ე საშუალო სკოლა და სწავლა გააგრძელა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტზე, ფიზიკოს-თეორეტიკოსის სპეციალობით. 1969-1972 წწ მუშაობდა ამიერკავკასიის ჰიდრომეტეოროლოგიის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის უმცროსი მეცნიერ თანამშრომლის თანამდებობაზე. 1975 წელს ა. სურმავამ დაამთავრა სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ციმბირის განყოფილების გამოთვლითი ცენტრის ასპირანტურა და 1978 წ. დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია.

2005 წ. ა. სურმავამ დაიცვა დისერტაცია ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად. 1972-1978 წწ იგი მუშაობდა ამიერკავკასიის ჰიდრომეტეოროლოგიის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტში ჯერ უმცროს, შემდეგ უფროს მეცნიერ თანამშრომლად და ლაბორატორიის გამგედ.

1986-1989 წლებში ა. სურმავა გარემოს დაბინძურების კონტროლის რესპუბლიკური ცენტრის უფროსია და აქტიურ მონაწილეობას ღებულობს საქართველოში გარემოს დაბინძურების მონიტორინგის სისტემის ჩამოყალიბებასა და სრულყოფის პროცესში.

1989-2005 წლებში იგი მუშაობდა მ. ნოდიას გეოფიზიკის ინსტიტუტის ლაბორატორიის გამგედ და უფროს მეცნიერ თანამშრომლად.

2006 წლიდან ა. სურმავა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის ბუნებრივი გარემოს გაჭუჭყიანების მონიტორინგისა და პროგნოზირების განყოფილების მთავარი მეცნიერ თანამშრომელია.

გამოქვეყნებული აქვს სამი მონოგრაფია და 200-მდე სამეცნიერო ნაშრომი.

მისი კვლევების ძირითად ინტერესს წარმოადგენს საქართველოსა და კავკასიის ტერიტორიაზე ატმოსფეროში, ნიადაგში, ზედაპირულ წყლებსა და შავ ზღვაში მიმდინარე ჰიდრომეტეოროლოგიური და ეკოლოგიური პროცესების კვლევა და პროგნოზირება რიცხვითი მოდელირებით.

ა. სურმავა აქტიურ მონაწილეობას ღებულობდა ჩერნობილის ატომური ელექტროსადგურის შედეგების ლიკვიდაციის სამუშაოებში, რისთვისაც დაჯილდოებულია სსრკ ჰიდრომეტეოროლოგიის და ბუნებრივი გარემოს კონტროლის სახელმწიფო კომიტეტის საპატიო სიგელით. იგი არის საქართველოს გარემოს დაცვისა და სოფლის მეურნეობის სამინისტროს საზოგადოებრივი ექსპერტი.

ბატონო ალექო, მიიღეთ ჩვენი გულთბილი მილოცვა საიუბილეო თარიღთან დაკავშირებით საუკეთესო სურვილებით.

## დარეჯან კირკიტაძე



დარეჯან კირკიტაძე დაიბადა 1945 წლის 29 ოქტომბერს. სკოლის დამთავრებისთანავე ჩაირიცხა ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტზე ბირთვული ფიზიკის სპეციალობით. 1968 წლიდან მუშაობს გეოფიზიკის ინსტიტუტში უმცროსი მეცნიერ თანამშრომლის თანამდებობაზე ატმოსფეროს ფიზიკის სექტორში. 2005 წელს მან დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია თემაზე „ატმოსფეროს აეროზოლური გაჭუჭყიანების მახასიათებლების გამოკვლევა ქ. თბილისში“. იმავე წლიდან ქალბატონი დარეჯანი არჩეულ იქნა უფროსი მეცნიერ თანამშრომლის თანამდებობაზე. 2005 წლიდან იგი გეოფიზიკის ინსტიტუტის სწავლული მდივანია, ხოლო 2007 წლიდან – ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს მდივანი.

დ. კირკიტაძე 100-მდე სამეცნიერო შრომის ავტორია.

ქალბატონო დარეჯან, გისურვებთ ჯანმრთელობას, ბედნიერებას, დიდი ხნის სიცოცხლეს და ახალ-ახალ წარმატებებს მეცნიერებაში.

## ვ ი ხ ს ე ნ ე ბ თ კ ო ლ ე გ ე ბ ს

### ПАМЯТИ КОЛЛЕГ

აკადემიკოსი მერაბ ალექსიძე

(1930 – 1993)



2025 წლის 8 დეკემბერს დაბადებიდან 95 წელი შეუსრულდებოდა გამოჩენილ ქართველ მეცნიერსა და საზოგადო მოღვაწეს, საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის აკადემიკოსს, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორს, საქართველოს სახელმწიფო პრემიის ლაურეატს პროფესორ მერაბ ალექსიძეს.

აკადემიკოსმა მერაბ ალექსიძემ წარუშლელი კვალი დატოვა ქართული მეცნიერების განვითარებაში. ის თავს გეოფიზიკოსად თვლიდა, მაგრამ შესანიშნავი მათემატიკოსიც გახლდათ, ფრიად ერუდირებული ისეთ დარგებში, როგორც არის გამოყენებითი მათემატიკა, გამოთვლითი მათემატიკა, გამოთვლითი ტექნიკა, პროგრამირება. მ. ალექსიძემ შეიმუშავა გეოფიზიკაში და მათემატიკურ ფიზიკაში სასაზღვრო ამოცანების ამოხსნის ახალი მეთოდები. მ. ალექსიძის ძირითადი მეცნიერული მიღწევები დაკავშირებულია გრავიმეტრიის, სეისმოლოგიისა და გეოთერმიის პირდაპირი და შებრუნებული ამოცანების ამოხსნის ალგორითმიზაციასთან, შებრუნებული ამოცანების მდგრადობის საზღვრების დადგენასთან. ამ გამოკვლევებმა მას მსოფლიოს სპეციალისტთა ფართო აღიარება მოუტანა. 34 წლის ასაკში ის უკვე მეცნიერებათა დოქტორი გახლდათ, 37 წლისას პროფესორის წოდება მიენიჭა.

1958-1973 წლებში მ. ალექსიძე მუშაობდა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გამოთვლით ცენტრში, 1973 წლიდან იგი გეოფიზიკის ინსტიტუტის დირექტორის მოადგილეა, ხოლო 1987 წლიდან – დირექტორი. მ. ალექსიძემ გეოფიზიკის ინსტიტუტში, გამოთვლითი ცენტრიდან თავისი განყოფილებით გადმოსვლის შემდეგ, დააარსა გამოთვლითი ცენტრი, ფართოდ დაწერა გამოყენებითი მათემატიკის მეთოდები გეოფიზიკაში, შექმნა საძიებო სისტემები და გეოფიზიკური ველების მონაცემთა ბაზები, წარმატებით შეიმუშავა და დაწერა გამოთვლითი მათემატიკის თანამედროვე მეთოდები. ყოველივე ამან განაპირობა ინსტიტუტის მეცნიერული კვლევის მაღალ, თანამედროვე დონეზე აყვანა, რის შედეგაც გეოფიზიკის ზოგიერთ დარგში კვლევის ცენტრებმა ყოფილი საბჭოთა კავშირის სხვადასხვა რესპუბლიკებიდან საქართველოში – გეოფიზიკის ინსტიტუტში გადმოინაცვლა.

1982 წელს მ. ალექსიძე აირჩიეს საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტად, 1988 წელს კი – აკადემიის ნამდვილ წევრად. მ. ალექსიძის გამოკვლევების შედეგები, როგორც მათემატიკური ფიზიკის ფუნდამენტურ საკითხებში, ასევე გეოფი-

ზიკის სხვადასხვა დარგში, გამოქვეყნებულია მის 18 მონოგრაფიასა და უამრავ სამეცნიერო სტატიაში. გარდაცვალების შემდეგ მისმა მოწაფეებმა გამოაქვეყნეს მისი მე-19 მონოგრაფია „მათემატიკური ფიზიკის განტოლებების ფუნდამენტური ფუნქციები სასაზღვრო ამოცანების მიახლოებულ ამოხსნაში“, რომელიც საინტერესოა მათთვის, ვინც მუშაობს გეოფიზიკის პირდაპირი და შებრუნებული ამოცანების, გამოყენებითი მათემატიკის, მათემატიკური ფიზიკისა და მათემატიკური მოდელების საკითხებში. 1994 წელს ქართველ მეცნიერთა ჯგუფს მიენიჭა საქართველოს სახელმწიფო პრემია მეცნიერების დარგში ამ სამუშაოების ხელმძღვანელები იყვნენ აკადემიკოსები მ. ალექსიძე და ბ. ბალავაძე. მ. ალექსიძე თანამშრომლობდა ყოფილი სოციალისტური ქვეყნების მეცნიერებთან, ხელმძღვანელობდა ქვეკომისიას „გეოფიზიკური ამოცანების ამოხსნის მათემატიკური უზრუნველყოფის განვითარება“, რომლის ხაზითაც სისტემატურად აწყო რესპუბლიკაში საერთაშორისო სიმპოზიუმებს. მ. ალექსიძე იყო ყოფილი სსრკ-ის მეცნიერებათა აკადემიის თეორიული და გამოთვლითი გეოფიზიკის სექციის სამეცნიერო საბჭოს წევრი ძიების გეოფიზიკური მეთოდების დარგში, იყო ევროპის გეოფიზიკური საბჭოსა და საერთაშორისო გეოფიზიკური საზოგადოების წევრი. მერაბ ალექსიძის მოღვაწეობას მაღალ შეფასებას აძლევდნენ ცნობილი მეცნიერები. აკადემიკოსები ვ. მაგნიცი და ვ. სტრახოვ. ისინი აღნიშნავდნენ, რომ მ. ალექსიძე უდავოდ ქართული გეოფიზიკის ლიდერია, რომელმაც შექმნა ორიგინალური მიმართულებები და დააარსა ახალი მეცნიერული სკოლა, უკრაინის მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი ა. ჩეკუნოვი აღნიშნავდა, რომ „ქართველები ბედნიერები ხართ, მერაბ ალექსიძისთანა მსოფლიო მასშტაბის გეოფიზიკოსი რომ გყავთ“, აკადემიკოსი ვ. სტაროსტენკო: – „მისი შედეგები გრავიმეტრიის, გეოთერმიის, სეისმოლოგიის დარგებში ფართოდ გამოიყენება თანამედროვე კვლევებში და დიდხანია გახდნენ კლასიკურები“. ცნობილია, რომ მ. ალექსიძემ სასპირანტურო კურსი გაიარა ყოფილი სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ზუსტი მექანიკისა და გამოთვლითი ტექნიკის ინსტიტუტში. ჟურნალისტ თამაზ ებანოიძის მოგონებიდან: „...მსოფლიო სახელის მქონე რუსი მათემატიკოსის სერგეი სობოლევის სემინარზე მ. ალექსიძემ (ასპირანტმა) რამდენიმე მოხსენება წაიკითხა და მისივე (ს. სობოლევის) წარდგენით ზედიზედ გამოაქვეყნა სამი სტატია მაშინდელი საბჭოთა კავშირის უმთავრეს სამეცნიერო ჟურნალში „მეცნიერებათა აკადემიის მოხსენებები“. თუ არ მეშლება, ასეთი შემთხვევა პირველი იყო, საერთოდ, ქართველი მკვლევარისთვის“. (აღნიშნული შრომები გამოქვეყნდა 1958 წელს, იხ. ДАН СССР Т.119 №5; Т.120 № 1, № 2). ერთხელ ინსტიტუტის რეგიონული სეისმოლოგიის განყოფილებას ეწვია საქვეყნოდ ცნობილი სეისმოლოგი, რუსეთის აკადემიის წევრ-კორესპონდენტი ევგ. სავარენსკი. განყოფილების თემატიკასთან დაკავშირებით მას მოუწია შეხვედრა გამოთვლით ცენტრში ბატონ მერაბთან, რომელიც იმ დროს იქ მუშაობდა. მათ დიდხანს ისაუბრეს. ჩვენ ვნახეთ იქედან დაბრუნებული, ამ შეხვედრით აღფრთოვანებული პროფესორი ევგ. სავარენსკი, „როგორი ნიჭი, როგორი ტალანტი“ იმეორებდა პროფესორი და უზიარებდა ყველას თავის შთაბეჭდილებას.

საგანგებოდ უნდა აღინიშნოს მ. ალექსიძის აქტიური საზოგადოებრივი და სახელმწიფოებრივი მოღვაწეობა. საქართველოში ეროვნულ მოძრაობას მ. ალექსიძე ერთ-ერთი პირველთაგანი გამოეხმაურა. დაუვიწყარია მისი გამოსვლა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის პრეზიდიუმის საგანგებო გაფართოებულ სხდომაზე 1989 წლის აპრილის მოვლენებთან დაკავშირებით. იგი იღწვოდა, ამ სიტყვის სრული მნიშვნელობით, საქართ-

ველოს მშვიდობიანი ხვალინდელი დღისათვის, 1990 წელს მ. ალექსიძე იყო საქართველოს ეროვნული კონგრესის ცენტრალური კომისიის თავმჯდომარე. 1991-1992 წლებში – საქართველოს რესპუბლიკის სახელმწიფო საბჭოს წევრი და საქართველოს საზოგადოება „თბილისის“ თავმჯდომარის მოადგილე, 1992-1993 წლებში საქართველოს ცენტრალური საარჩევნო კომისიის თავმჯდომარე. მან დიდი შრომა გასწია რთულ ვითარებაში საპარლამენტო არჩევნების ნორმალურად ჩატარებისათვის. 1992 წლის 13-14 ოქტომბერს საქართველოს რესპუბლიკის მეცნიერებათა აკადემიაში ჩატარდა საერთაშორისო სიმპოზიუმი „დემოკრატია და არჩევნები“. 13 ოქტომბრის სხდომაზე შესავალი სიტყვით გამოვიდა ამხ. ედუარდ შევარდნაძე, მის შემდეგ კი, პირველი გამოვიდა მერაბ ალექსიძე მოხსენებით „დემოკრატიული საარჩევნო სისტემის შეფასებისა და შერჩევის პრობლემები“ (საქართველოს რესპუბლიკის პარლამენტის 1992 წლის 14 ოქტომბრის არჩევნების მაგალითზე). 1992 წელს მ. ალექსიძემ პირადი ინიციატივით უარი თქვა ინსტიტუტის დირექტორობაზე და დაიკავა მთავარი მეცნიერ თანამშრომლის თანამდებობა, იმისთვის, რომ სამეცნიერო მოღვაწეობისთვის მეტი დრო დაეთმო.

1993 წლის 10 ივლისს ბრმა შემთხვევამ უდროოდ შეწყვიტა სამშობლოს -ბედიღბლით გულანთებული მეცნიერის სიცოცხლე.

როგორი იყო ბატონი მერაბი? 1992 წლის 14 თებერვალს გაზეთ „საქართველოს რესპუბლიკაში“ გამოქვეყნდა ინტერვიუ აკადემიკოს მერაბ ალექსიძესთან. შეკითხვაზე: როგორია თქვენი პოზიციები? ბატონი მერაბი პასუხობს „... მე იგი არასოდეს დამიმალავს და ახლაც ვაცხადებ, რომ წინააღმდეგი ვიყავი, ვარ და ალბათ ყოველთვის ვიქნები ყოველ დონეზე და ყველა სიტუაციაში უზუნოვობისა, არაპროფესიონალიზმისა და დიქტატისა, ... კარგად უნდა გავიაზროდ ყველაფერი, რაც ჩვენს ირგვლივ ხდება. ადამიანი ჯერ ფიქრისთვის არის გაჩენილი და შემდეგ – მოქმედებისთვის“. ასევე, საინტერესოა ჟურნალისტ თამაზ ებანოძის მოსაზრება ამ დიდ პიროვნებაზე: „ჩემთვის და ბევრისთვისაც ის გახლდათ მამაკაცური მეგობრობის, ოჯახისა და პროფესიის ერთგულების, მოქალაქეობის, საქმეში პირიანობისა და არაერთი სხვა ღონისძიების ეტალონი. ტყუილად კი არ იყო, რომ „დათა თუთაშხიას“ გამოჩენისთანავე აიტაცა ჭაბუა ამირეჯიბის ერთ-ერთი საყვარელი მიგნება – „ჯერ წესია საქმე და მერე საქმეა საქმე“.

ბატონმა მერაბმა ინსტიტუტში მუშაობის დროს თავი გამოიჩინა, როგორც მკაცრმა, მაგრამ პრინციპულმა და სამართლიანმა ხელმძღვანელმა. იგი დღეს გასაკეთებელ საქმეს არავითარ შემთხვევაში არ გადადებდა ხვალისთვის. იყო პირდაპირი, თავისი პოზიციების შეუპოვარი დამცველი.

ბატონი მერაბი აქტიურად იყო ჩაბმული ინსტიტუტის კოლექტივთან ერთად სხვადასხვა სპორტულ ღონისძიებებში, საჭადრაკო ტურნირებში, საფეხბურთო შეჯიბრებებში და სხვ.

1994 წელს მერაბ ალექსიძეს გარდაცვალების შემდეგ მიენიჭა საქართველოს სახელმწიფო პრემია მეცნიერებისა და ტექნიკის დარგში; დაწესდა საქართველოს გეოფიზიკური საზოგადოების აკადემიკოს მერაბ ალექსიძის სახელობის პრემია, რომელიც ენიჭება ორ წელიწადში ერთხელ გეოფიზიკის დარგში საუკეთესო ნაშრომს; ზოია რუხაძის ქუჩას შეეცვალა სახელი, ეხლა ინსტიტუტის მისამართია: მ. ალექსიძის ქუჩა №1; 1996 წლის 30-31 მაისს თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ი.ვეკუას სახელობის გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტში ჩატარდა აკადემიკოს მერაბ ალექსიძის ხსოვნისადმი მიძღ-

ნილი სტუდენტთა სამეცნიერო კონფერენცია და საიუბილეო სხდომა; 1997 წელს დედამიწის ფიზიკისა და საძიებო გეოფიზიკის აკად. მერაბ ალექსიძის სახელობის საქალაქო სემინარზე ჩატარდა „მერაბ ალექსიძისეული საუბრები“, 2000 და 2010 წლებში საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნულ აკადემიაში ჩატარდა საიუბილეო სხდომები, მიძღვნილი აკადემიკოს მერაბ ალექსიძის დაბადებიდან 70 და 80 წლის აღსანიშნავად. გეოფიზიკის ინსტიტუტმა კი 80 წლისთავს მიუძღვნა “ინსტიტუტის შრომათა კრებული“ ( 2010, ტომი 62), ტომის 3-5 გვერდზე გამოაქვეყნდა სტატია რუსულ ენაზე „აკადემიკოსი მერაბ ალექსიძე“. 2020 წელს, დაბადებიდან 90 წლისთავზე, ინსტიტუტის შრომათა კრებულში (ტომი 72), 150-152 გვ. გამოქვეყნდა მოგონება ბატონ მერაბზე. 1990 წელს ინსტიტუტში აღინიშნა ბატონი მერაბის 60 წლისთავი, მაშინ მან გაგვაფრთხილა „საიუბილეო ადრესი არ გამიკეთოთ“. აი ასეთი იყო ბატონი მერაბი.

ბატონი მერაბის სიცოცხლე შეიძლება შევადაროთ კაშკაშა ვარსკვლავის გაელვებას ცის კაზადონზე და მის უეცარ ჩაქრობას. რა დასანანია, რომ ეს მოხდა მისი სამეცნიერო მოღვაწეობის ზენიტში, მაშინ, როდესაც მას ახალ-ახალი წარმატებები და სამეცნიერო მიღწევები ელოდა. მერაბ ალექსიძე იყო პიროვნება, რომლის სახელიც დავიწყებას არასოდეს მიეცემა მისი ახლობლების, მეგობრებისა და კოლეგების მეხსიერებაში.

## ლიტერატურა

1. საგაზეთო წერილები მ. ალექსიძის შესახებ.

### **Академик Мераб Александрович Алексидзе**

**(К 95-летию со дня рождения)**

**( 1930 – 1993 )**

Видный ученый и общественный деятель, академик Национальной академии наук Грузии, доктор физико-математических наук, лауреат Государственной премии, профессор Мераб Александрович Алексидзе внес значительный вклад в развитие естественных наук и оставил неизгладимый след в истории грузинской науки. С присущей ему энергией и неукротимым стремлением ко всему новому, неизведанному, он в течение почти 40 лет самоотверженно служил своему любимому делу – науке. М.А. Алексидзе – специалист в области решений граничных задач геофизики и математической физики, особо следует выделить исследования в области теоретической и прикладной гравиметрии, а также ряд исследований по сейсмологии, сейсмометрии и геотермии. Многогранен круг интересов М.А. Алексидзе. Он был новатором не только в науке. В последние годы активно включился в политическую жизнь Республики, серьезно занялся исследованиями вопросов приватизации и выборов. М. А. Алексидзе был личностью с уникальными способностями: блестящий ученый, спортсмен, интеллигент с высоким авторитетом как в кругу специалистов, так и среди друзей.

М. А Алексидзе работал: в 1958-1973 гг. в Вычислительном центре АН Грузии, в 1973-1975 и 1977-1986 гг. он заместитель директора Института геофизики АН Грузии, в 1987 г. был избран директором Института геофизики, в 1982 г. избран членом-корреспондентом, а в 1988 г. действительным членом АН Грузии, в 1992-1993 гг. был председателем Центральной избирательной комиссии по выборам Грузии.

Мераб Александрович Алексидзе 10 июля 1993 года трагически погиб. Были получены соболезнования от директора Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН академика

А.О. Глико: « Трагическая гибель академика М.А. Алексидзе стала огромным уроном не только для грузинской и российской, но и для всей мировой науки. Он ушел от нас во цвете лет и эта утрата невозполнима»; от директора Института геофизики АН Украины академика В.И. Старостенко: «Его результаты в области гравиметрии, сейсмологии широко используются в современных исследованиях и давно стали классическими. Мераб Александрович – образец высочайшей интеллигентности, культуры. Он всегда был в будет таким в нашей памяти.»

В 1994 году М.А. Алексидзе, посмертно, была присвоена Государственная премия Грузии в области науки и техники, Грузинское геофизическое общество учредило премию имени академика М.А. Алексидзе за лучшую работу в области геофизической науки, улица Зои Рухадзе была переименована, новый адрес Института геофизики: ул. М.А. Алексидзе №1.

## **ფიზ.-მათ. მეცნ. კანდიდატი გიორგი ბერიშვილი**

**(1920 – 1974)**



საქართველოში ცნობილ სპეციალისტს დედამიწის მაგნეტიზმის დარგში, 1963 წლიდან გარდაცვალებამდე გეოფიზიკის ინსტიტუტის დირექტორის მოადგილეს სამეცნიერო ნაწილში. ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატს გიორგი ბერიშვილს მიმდინარე წელს 105 წელი შეუსრულდებოდა. ის დაიბადა 1920 წელს თბილისში, მოსამსახურის ოჯახში. 1939 წელს ჩაირიცხა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტზე. 1941-1943 წწ. მონაწილეობდა დიდ სამამულო ომში. მძიმე ჭრილობის გამო 1943 წ. დემობილიზებულ იქნა საბჭოთა არმიის რიგებიდან და სწავლა გააგრძელა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში, შემდეგ ასპირანტურაში დედამიწის მაგნეტიზმის სპეციალობით. 1950 წლიდან გ. ბერიშვილი გეოფიზიკის ინსტიტუტის დედამიწის მაგნეტიზმის განყოფილების თანამშრომელია.

გ. ბერიშვილმა 1957 წელს, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში პროფ. მ. ნოდის სამეცნიერო ხელმძღვანელობით დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია თემაზე: „ თბილისის მონაცემებით მზის აქტივობის 1933-1945წწ. მთლიანი პერიოდის გეომაგნიტური აღრევების გამოკვლევები“. გ. ბერიშვილი 37 სამეცნიერო ნაშრომის, მათ შორის 2 მონოგრაფიის ავტორია. მის შრომებში ძირითადად განხილულია გეომაგნიტური ქარიშხლების ბუნება და მათი გავლენა დედამიწაზე მიმდინარე პროცესებზე, შესწავლილია 27-დღიანი განმეორებადი ქარიშხლები და უეცარსაწყისიანი ქარიშხლები, გამოკვლეულია განმეორებადი ქარიშხლების დამოკიდებულება მზის აქტივობაზე.

1960-1963 წლებში გ. ბერიშვილი მუშაობდა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიაში საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა განყოფილების სწავლულ მდივნად. გიორგი ბერიშვილი გარდაიცვალა 1974 წელს. შესანიშნავი ადამიანი, კეთილშობილი, სამართლიანი, დიდი ავტორიტეტის მქონე პიროვნება მუდამ ემახსოვრებათ გეოფიზიკის ინსტიტუტის თანამშრომლებს.

## **ლიტერატურა**

1. გეოფიზიკის ინსტიტუტის საარხივო მასალები: გ. ბერიშვილის სამეცნიერო მოღვაწეობა.

## გიორგი პავლივი ბერიშვილი

(1920-1974)

Окончил физико-математический факультет Тбилисского государственного университета, затем аспирантуру по специальности «земной магнетизм». С 1950 года – сотрудник отдела земного магнетизма Института геофизики. В 1957 году защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Исследование геомагнитных возмущений по данным Тбилиси за полный период цикла солнечной активности 1933-45гг.» В 1960-1963 гг. – ученый секретарь Отделения естественных наук Академии наук Грузии. Окончил физико-математический факультет Тбилисского государственного университета, затем аспирантуру по специальности «земной магнетизм». С 1950 года – сотрудник отдела земного магнетизма Института геофизики. В 1957 году защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Исследование геомагнитных возмущений по данным Тбилиси за полный период цикла солнечной активности 1933-45гг.» В 1960-1963 гг. – ученый секретарь Отделения естественных наук Академии наук Грузии.

Г.П. Беришвили скончался в 1974 году. В 2025 году Георгию Павловичу Беришвили исполняется 105 лет со дня рождения.

## აკადემიკოსი ჯუმბერ ლომინაძე

( 1930 – 2014 )



2025 წლის 20 სექტემბერს 95 წელი შეუსრულდებოდა შესანიშნავ მეცნიერ-ფიზიკოსს, ღირსეულ მამულიშვილს, გამოჩენილ საზოგადო მოღვაწეს, საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის აკადემიკოსს ჯუმბერ ლომინაძეს. ჯუმბერ ლომინაძემ 1949 წელს წარჩინებით დაამთავრა თბილისის მე-6 ვაჟთა საშუალო სკოლა და შევიდა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკა-ტექნიკის ფაკულტეტზე. 1951 წლიდან გადავიდა მ. ლომონოსოვის სახელობის მოსკოვის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტზე, რომელიც წარჩინებით დაამთავრა 1955 წელს. ჯ. ლომინაძე 1956-1958 წლებში მუშაობდა ჩელიაბინსკ-70-ში (ამჟამად ქ.სნეჟინსკი) რუსეთის ფედერალური ბირთვული ცენტრის (ამჟამად, ბირთვული იარაღის დამუშავების ცენტრი) სრულიად რუსეთის ტექნიკური ფიზიკის სამეცნიერო კვლევით ინსტიტუტში. ის მონაწილეობდა აქტიური თერმობირთვული იარაღის სრულყოფის პროგრამაში. მისთვის განსაკუთრებული ინტერესის სფეროს წარმოადგენდა პლაზმის ფიზიკის პრობლემები, რადგან ძირითად მიზნად ისახავდა თერმობირთვული იარაღის „გამაკეთილშობილებელი“ ისეთი რეაქტორის აგებას, რომლის საშუალებითაც მოხერხდებოდა თერმობირთვული რეაქციების მართვა და, შედეგად, კაცობრიობისათვის ფაქტობრივად ულევო, ეკოლოგიურად სუფთა ენერჯის წყაროს შექმნა.

1958 წელს ჯ. ლომინაძე დაბრუნდა საქართველოში და ფიზიკის ინსტიტუტის თანამშრომელთა ჯგუფთან ერთად შეუდგა პლაზმის ფიზიკის ჩამოყალიბებასა და განვითარებას. მისი მეცნიერული კვლევების საგანს შეადგენდა უშუალოდ პლაზმის ფიზიკის თეორია. როდესაც პლაზმის ფიზიკაში დაგროვილი ცოდნისა და გამოცდილების საფუძველზე აწარმოებდა კვლევას ასტროფიზიკურ ობიექტებში მიმდინარე პროცესების შესას-



წავლად, ჯ. ლომინაძე მჭიდროდ თანამშრომლობდა რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის კოსმოსური კვლევების ინსტიტუტთან, პირადად აკად. რ. საგდევეთან და მის კოლეგებთან. ჯ. ლომინაძის ორივე დისერტაციაში, საკანდიდატოშიც და სადოქტოროშიც პლაზმის ფიზიკის საკითხებია გამოკვლეული. ჯ. ლომინაძემ და მისმა თანამშრომლებმა საფუძველი ჩაუყარეს ახალ მიმართულებას – ელექტრონულ-პოზიტრონული პლაზმის ელექტრომაგნიტურ თეორიას, რომლის საფუძველზეც აიგო კიბორჩხალის ნისლეულში მყოფი პულსარის გამოსხივების მოდელი, ფუნდამენტური კვლევებია ჩატარებული თვით კიბორჩხალის ნისლეულში მიმდინარე მოვლენების შესასწავლად.

ჯ. ლომინაძე წლების განმავლობაში ხელმძღვანელობდა პლაზმური პროცესების მათემატიკური მოდელირების ჯგუფს ი. ვეკუას სახელობის გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტში; 1988 წელს იგი აირჩიეს საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ნამდვილ წევრად.

აკად. ჯ. ლომინაძემ, ჩვენს თანამემამულე მოსკოვის ი. კურჩატოვის სამეცნიერო ცენტრის პროფესორ ვ. ფეტვიაშვილთან ერთად, აბასთუმნის ასტროფიზიკურ ობსერვატორიაში შექმნა ექსპერიმენტული დანადგარი, რომლის საშუალებითაც ხდება დედამიწის ატმოსფეროსა და ოკეანეებში გრიგალების – ციკლონებისა და ანტიციკლონების ჩამოყალიბებისა და დინამიკის მოდელირება. აკად. ჯ. ლომინაძეს, ასევე, მნიშვნელოვანი მეცნიერული შედეგები აქვს მიღებული მზეზე, დედამიწის მაგნიტოსფეროსა და ატმოსფეროში მიმდინარე პლაზმური პროცესების კვლევაში.

აკად. ჯ. ლომინაძის ასტროფიზიკური კვლევების არეალმა მოიცვა სამყაროს ყველაზე ეგზოტიკური ობიექტის – შავი ხვრელების – ირგვლივ არსებულ ე.წ. აკრეციულ დისკოებში მიმდინარე ფიზიკური პროცესები. შემუშავდა თეორიული მოდელი, რომელიც ხსნის ამ მოვლენის თავისებურებებს და თვისებებს. ამ მიმართულებით წარმოებული კვლევისათვის მკვლევართა ჯგუფს აკად. ჯ. ლომინაძის ხელმძღვანელობით 2002 წელს საქართველოს სახელმწიფო პრემია მიენიჭა მეცნიერების დარგში.

აკად. ჯ. ლომინაძე ეწეოდა ნაყოფიერ პედაგოგიურ მოღვაწეობას, კითხულობდა ლექციებს უმაღლეს სასწავლებლებში. ახალგაზრდებზე ზრუნვა ვრცელდებოდა საქართველოს საზღვრებს გარეთაც. აკად. ჯ. ლომინაძეს მჭიდრო თანამშრომლობა აკავშირებდა საერთაშორისო სამეცნიერო წრეებთან. ჯ. ლომინაძეს ახასიათებდა ფიზიკური აზროვნების მაღალი კულტურა, რაც განაპირობებდა ახალგაზრდა მეცნიერთა დამოუკიდებელ მკვლევარებად სწრაფ ჩამოყალიბებას. მისი მოწაფეები ნაყოფიერად მოღვაწეობენ მსოფლიოს სხვადასხვა სამეცნიერო ცენტრებში.

აკად. ჯ. ლომინაძე წლების განმავლობაში ხელმძღვანელობდა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მათემატიკისა და ფიზიკის განყოფილებას, ეკავა აბასთუმნის ასტროფიზიკურ ობსერვატორიის დირექტორის თანამდებობა, მისი ინიციატივით დაარსდა საერთაშორისო სკოლა და სიმპოზიუმი პლაზმურ ასტროფიზიკაში ვარენა-აბასთუმანი და დაინიშნა ამ სკოლის დირექტორად, 2007 წელს მან გეოფიზიკის ინსტიტუტში ჩამოაყალიბა კოსმოსური კვლევის ცენტრი, რომლის ინტერესი მოიცავს უწყვეტი გარემოს არაერთგვაროვანი დინებების დინამიკას გეოფიზიკურ და საინჟინრო პროცესებში.

აკად. ჯუმბერ ლომინაძემ მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა პლაზმის ფიზიკის ერთ-ერთი განხრის, ელექტრონული ციკლოტრონული ტურბულენტობის თეორიის შექმნაში. მოვლენები, რომლებიც იწინასწარმეტყველა ჯუმბერ ლომინაძემ თავის თეორიულ შრომებში, შემდგომში ექსპერიმენტულად დაადასტურეს უცხოელმა მეცნიერებმა. მიღებული შედეგების სამეცნიერო ღირებულებამ დააინტერესა მსოფლიოში ერთ-ერთი ყველაზე

ავტორიტეტული გამომცემლობა „პერგამონ პრესი“, რომელმაც 1981წელს გამოსცა ჯ. ლომინაძის მონოგრაფია „ციკლოტრონული ტალღები პლაზმაში“ ინგლისურ ენაზე. ეს შრომა ამ დარგში მომუშავე სპეციალისტებისთვის სამაგიდო წიგნი გახდა.

აკად. ჯ. ლომინაძე 500-მდე სამეცნიერო შრომის ავტორია. მეცნიერების წინაშე თვალსაჩინო დამსახურებისათვის მიღებული აქვს მთავრობის ჯილდოები. ამასთან ერთად ის ჩვენი ქვეყნის საზოგადოებრივ-პოლიტიკური ცხოვრების აქტიური წევრი იყო – 1997-2003 წლებში თავმჯდომარეობდა საქართველოს ცენტრალურ საარჩევნო კომისიას.

გეოფიზიკის ინსტიტუტის თანამშრომლებს ყოველთვის გვემახსოვრება ბატონი ჯუმბერი, ბუნებით ინტელიგენტი, უაღრესად გულისხმიერი, კეთილგანწყობილი და შესანიშნავი ადამიანი.

## ლიტერატურა

1. ჯუმბერ ლომინაძე. ბიობიბლიოგრაფია. მეცნიერება. 2005 -156 გვ.

### **Академик Джумбер Георгиевич Ломинадзе (1930 – 2014)**

95 лет назад, 20 сентября 1930 года в Тбилиси родился известный грузинский ученый-физик и общественный деятель, основатель научной школы теоретической астрофизики, доктор физико-математических наук, академик Национальной академии наук Грузии Джумбер Георгиевич Ломинадзе.

В 1955 году Дж. Ломинадзе с отличием окончил физический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова по специальности «Строение вещества». Его особый интерес вызывала физика плазмы, так как она ставила целью «облагораживание» термоядерного оружия – создание такого реактора, с помощью которого возможно управлять термоядерными реакциями и, тем самым, создавать для человечества фактически неисчерпаемый, экологически чистый источник энергии. В 1956-1958 гг. Дж. Ломинадзе работал в Челябинске во Всероссийском научно-исследовательском институте технической физики, где непосредственно участвовал в программе совершенствования термоядерного оружия. В 1958 г. Дж. Ломинадзе возвращается в Тбилиси, работает в Институте физики. В 1964 г. защищает кандидатскую диссертацию на тему «Взаимодействие потоков заряженных частиц с низкочастотными колебаниями плазмы». В 1973-1976 годах Дж. Ломинадзе заведывал группой математического моделирования плазменных процессов в Институте прикладной математики им. И. Н. Векуа Тбилисского государственного университета. В 1974 году защитил докторскую диссертацию на тему «Теория неустойчивости и турбулентности плазмы в области циклотронных гармоник». В 1976 г. в Абастуманской астрофизической обсерватории создал группу, работающую в области плазменной астрофизики. На базе группы был создан отдел теоретической астрофизики.

Джумбер Георгиевич в 1979 г. был избран членом-корреспондентом НАН Грузии, в 1988г. – действительным членом, с 1982 года он – академик-секретарь Отделения математики и физики НАН Грузии. В 1984 е. по инициативе академика Дж. Е. Ломинадзе были созданы Международная школа и симпозиум в плазменной астрофизике Варейна-Абастумани. В 1992-2000 гг. акад. Л.Г. Ломинадзе директор Абастуманской астрофизической обсерватории. В 1997 г. он избран членом Астрономического союза, а с 1999г. членом Американского физического общества, в 2000 г. назначен руководителем филиала – Центра плазменной астрофизики Абастуманской астрофизической обсерватории им. Е.К. Харадзе НАН Грузии, с 2003 г. – Пре-

дседатель Космического агентства Грузии, с первого января 2007 года в Институте геофизики под руководством Джумбера Георгиевича основан Центр космических исследований.

Академик Джумбер Георгиевич Ломинадзе скончался 19 января 2014 года. Образ этого замечательного ученого, обаятельного, светлого, гуманного, высоко культурного и всеми любимого человека навеки останется в памяти его коллег и сотрудников нашего Института.

**საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის წევრ-კორესპონდენტი,  
პროფესორი გურამ შენგელაია  
(1925 – 2002)**



მიმდინარე წლის 27 მაისს 100 წელი შეუსრულდებოდა საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის წევრ-კორესპონდენტს, გეოლოგია-მინერალოგიის მეცნიერებათა დოქტორს, პროფესორ გურამ შენგელაიას, რომელმაც დიდი წვლილი შეიტანა ქართული გეოფიზიკური მეცნიერების, კერძოდ კი გრავიმეტრიის, განვითარების საქმეში. მან მთელი თავისი ცხოვრება მეცნიერების სამსახურს მიუძღვნა, რამაც უდიდესი ავტორიტეტი შეუქმნა არა მარტო საქართველოში, არამედ მის ფარგლებს გარეთაც. გურამ შენგელაია იყო ამერიკისა და ევრაზიის გეოფიზიკური საზოგადოებების წევრი, საქართველოს სახელმწიფო და აკად. მ. ალექსიძის სახელობის პრემიების ლაურეატი.

გ. შენგელაია დაიბადა 1925 წლის 27 მაისს ქ. თბილისში, იურისტის ოჯახში. 1949 წელს დაამთავრა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გეოგრაფია-გეოლოგიის ფაკულტეტი გეოლოგ-გეოფიზიკოსის სპეციალობით. ფიზიკისა და გეოფიზიკის ინსტიტუტში სამუშაოდ გ. შენგელაია მიიწვია მისმა მასწავლებელმა იმ დროს ამავე ინსტიტუტის დირექტორის მოადგილემ (1950 წლიდან – დირექტორმა), საქართველოში გრავიმეტრიული სკოლის დამფუძნებელმა ბატონმა ბენო ბალავაძემ, რომელთანაც შემდგომში სიცოცხლის ბოლომდე სანიმუშო მეგობრობა აკავშირებდა. ბატონ ბ. ბალავაძეს გადაწყვეტილი ჰქონდა საქართველოსა და კავკასიონის ტერიტორიის ფართოთი გრავიმეტრიული აგეგმვის ჩატარება. სწორედ ამ სამუშაოში ჩაება გ. შენგელაია და 10 წლის განმავლობაში (1950-1959) სეზონის გამოუტოვებლად, უნარიანად ხელმძღვანელობდა აგეგმვას. 1951-1953 წლებში იგი, ასევე, მონაწილეობდა აკადემიკოს ბ. ბალავაძის მიერ საქართველოში პირველად ჩატარებულ სიმძიმის ძალის ვერტიკალური გრადიენტის სავლე ექსპერიმენტულ გამოკვლევაში. სპეციალისტებმა ეს გამოკვლევა იმდენად მნიშვნელოვნად ჩათვალეს, რომ იგი მაშინვე შეიტანეს უმაღლესი სასწავლებლის, კერძოდ, მოსკოვის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გეოფიზიკური სპეციალობის სტუდენტთა სასწავლო პროგრამაში. გ. შენგელაიას ეკუთვნოდა იდეა, რომ სავლე მუშაობის დროს შეეგროვებინა დედამიწის ქერქის ქანების ნიმუშები და განესაზღვრა მათი სიმკვრივე. ამ მდიდარ მასალაზე დაყრდნობით მან რამდენიმე შრომა გამოსცა, სადაც მოცემულია საქართველოს ტერიტორიის დედამიწის ქერქის საშუალო სიმკვრივეთა რუკა. ამ მასალის საფუძველზე გ. შენგელაიამ 1961 წელს წარმატებით დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია თემაზე „დედამიწის ქერქის აგებულება მდ. მტკვრის აუზის დასავლურ ნაწილში“, რომელიც გამდიდრებული ახალი

მასალით გამომცემლობა „მეცნიერება“ 1968 წელს გამოსცა მონოგრაფიის სახით. გ. შენგელაიას შემდგომი კვლევები მთლიანად ეძღვნება კავკასიისა და მისი მიმდებარე ტერიტორიების დედამიწის ქერქის აგებულების შესწავლას. ამ ტერიტორიებისთვის არსებული გრავიმეტრიული მონაცემების ფართო ანალიზის საფუძველზე შედგენილი იქნა და პირველად გამოიცა ერთმილიონიანი მასშტაბის კავკასიის ტერიტორიის გრავიმეტრიული რუკა, ბუგეს არასრულ ტოპოგრაფიულ რედუქციაში. გ. შენგელაიას მეცნიერული მიღწევებიდან განსაკუთრებით აღსანიშნავია დედამიწის ქერქის სამგანზომილებიანი გრავიტაციული ეფექტის გამოთვლისა და, რაც მთავარია, დედამიწის ქერქის სამგანზომილებიანი გრავიტაციული მოდელის აგების მეთოდის დამუშავება. შემდგომში მან აკადემიკოს მერაბ ალექსიძესთან ერთად შეიმუშავა ალგორითმი, რამაც გამომთვლელი მანქანით დედამიწის ქერქის სამგანზომილებიანი მოდელის აგების მეთოდის უნივერსალური პროგრამის შედგენის საშუალება შექმნა.

გ. შენგელაია 1963-დან 1976 წლამდე საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის დედამიწის შემსწავლელ მეცნიერებათა განყოფილების სწავლულ მდივნად მუშაობდა; 1876-1978 წლებში იმყოფებოდა სირიის არაბთა რესპუბლიკაში კონტრაქტით, როგორც საბჭოთა სპეციალისტების ჯგუფის უფროსი ქ. ალექოში. 1978 წელს დაბრუნდა სამშობლოში და 1978-1982 წლებში გეოფიზიკის ინსტიტუტში ხელმძღვანელობდა რადიომეტრიის განყოფილებას. 1981 წელს უკრაინის მეცნიერებათა აკადემიის ს. სუბოტინის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტში დაიცვა დისერტაცია გეოლოგია-მინერალოგიის მეცნიერებათა დოქტორის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად თემაზე: „დედამიწის ქერქის გრავიტაციული მოდელი კავკასიაში“.

1982 წლიდან გ. შენგელაიასთვის მეცნიერებაში ახალი მიმართულება დაიწყო. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის პრეზიდიუმმა იგი გეოფიზიკის ინსტიტუტთან არსებული ჯერ საცდელ-მეთოდური ექსპედიციის, ხოლო 1996 წლიდან, ქვეყნის ერთიანი სეისმური დაცვის ეროვნული სამსახურის უფროსად დანიშნა, სადაც მან სიცოცხლის ბოლომდე იმოღვაწა. მან ამ მეტად საპასუხისმგებლო საქმეს წარმატებით გაართვა თავი. ჩვენს რესპუბლიკაში არსებული სეისმური ქსელის ხელმძღვანელობის გარდა, შექმნა გეოფიზიკური ველების დაკვირვებათა ქსელი და მოიპოვა დიდი მოცულობის დანაკვირვები მასალა. გრავიმეტრიაში დაწყებული მეცნიერული კვლევები გ. შენგელაიამ მშვენივრად შეუთავსა ახალ სამსახურს. ეს ეხება გრავიმეტრიული მეთოდების სრულყოფას და მიწისძვრების პროგნოზის პრობლემასთან დაკავშირებული თემატიკური სამუშაოების შესრულებას. სწორედ გეოფიზიკის ინსტიტუტში აკადემიკოს მერაბ ალექსიძესთან ერთად პირველად საბჭოთა კავშირში დაინერგა პროგრამა – ჰიპოცენტრია – გრავიტაციული მოდელი („ჰიპო-გმ“), რომელსაც საფუძველად უდევს გ. შენგელაიას მიერ კავკასიისათვის მიღებული დედამიწის ქერქის სტრუქტურა. 1997 წელს გ. შენგელაიას უშუალო ხელმძღვანელობით შემუშავდა ქვეყნის სეისმური დაცვის ეროვნული სამსახურის 1998-2005 წლების სახელმწიფო მიზნობრივი პროგრამა, რომელიც დამტკიცდა საქართველოს პრეზიდენტის ბრძანებულებით. 1985 წელს გ. შენგელაიას მიენიჭა პროფესორის წოდება, 1988 წელს აირჩიეს საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის წევრ-კორესპონდენტად, 1994 წელს კოლეგებთან ერთად მიენიჭა საქართველოს სახელმწიფო პრემია მეცნიერებისა და ტექნიკის დარგში, 1996 წელს კი – აკადემიკოს მ. ალექსიძის სახელობის პრემია, 2000 წელს დაჯილდოვდა საქართველოს ღირსების ორდენით. აღსანიშნავია, რომ მას

1984 წელს მიღებული აქვს საქართველოს სსრ უმაღლესი საბჭოს პრეზიდიუმის საპატიო სიგელი. გ. შენგელაია ავტორია მოდელის: „დედამიწის შინაგანი აგებულებისა და ძირითადი ფიზიკური პარამეტრების სიღრმული განაწილების სისტემაში მოყვანილი სადემონსტრაციო მაკეტის მოდელი“, სათანადო საავტორო მოწმობა მიღებული აქვს 1994 წელს.

გურამ შენგელაია გარდაიცვალა 2002 წლის 28 ივნისს. დაკრძალულია საბურთალოს სასაფლაოს საზოგადო მოღვაწეთა პანთეონში. გურამ შენგელაიამ ნაყოფიერი მოღვაწეობით, ყოველდღიური საქმიანობით, კოლეგებთან ურთიერთობით, მეგობრებთან დამოკიდებულებით ღრმა კვალი დატოვა საზოგადოების მეხსიერებაში.

## ლიტერატურა

1. ვ. აბაშიძე, ვ. ჭიჭინაძე, ლ. დარახველიძე, ჯ. ქირია, ლ. წიკლაური. გურამ შენგელაია (ბიობიბლიოგრაფია).2005; მეცნიერება; 59 გვ.

### **Член-корреспондент национальной академии наук Грузии, Профессор Гурам Шалвович Шенгелая (1925 – 2002)**

Посвящается 100-летию со дня рождения.

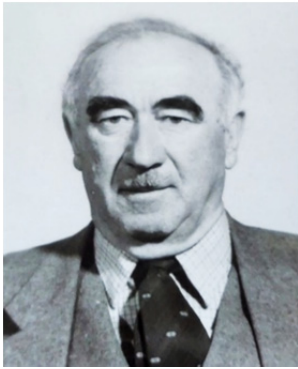
Член-корреспондент Национальной академии наук Грузии, доктор геолого-минералогических наук, профессор Г.Ш. Шенгелая сыграл большую роль в развитии геофизической науки в Грузии, в частности, гравиметрии, что и создало ему высокий авторитет среди коллег как в Грузии, так и за ее пределами. Г.Ш. Шенгелая был членом геофизических обществ Америки и Европы, лауреатом Государственной премии Грузии и премии имени академика М.А. Алексидзе. В 1984 г. был награжден Почетной грамотой Президиума Верховного Совета Грузии, а в 2000 году – орденом Чести Грузии.

В 1949 году, после окончания географо-геологического факультета Тбилисского государственного университета Г.Ш. Шенгелая, по рекомендации акад. Б.К. Балавадзе, начинает работать в отделе гравиметрии Института геофизики и назначается руководителем экспедиционных работ по проведению гравиметрической съемки всей территории Грузии. Все научные исследования Г.Ш. Шенгелая в отделе были полностью посвящены изучению строения земной коры Кавказа и сопредельных территорий. Он является соавтором гравиметрической карты территории Кавказа.

В 1963-1976 годах Г.Ш. Шенгелая – ученый секретарь Отделения наук о Земле АН Грузии, в 1976-1978 гг. находится в Сирийской Арабской республике по контракту, как начальник группы советских специалистов в г. Алеппо, в 1979-1982 гг. -руководитель отдела радиометрии Института геофизики. С 1982 года Г.Ш. Шенгелая назначается начальником Опытно-методической геофизической экспедиции при Институте геофизики, которая с 1996 года преобразована в Единую национальную службу сейсмической защиты Грузии. Должность начальника он занимал до конца жизни. Пол руководством Г.Ш. Шенгелая была разработана Государственная целевая программа Единой национальной службы на 1998-2005 годы, утвержденная затем Президентом Грузии.

Профессор Г.Ш. Шенгелая скончался в 2002 году. Неутомимый труженик, безмерно преданный своему делу, отличный семьянин – таким был Гурам Шалвович Шенгелая.

**პროფესორი მიხეილ იოსელიანი**  
( 1925 – 1992)



მიმდინარე წელს 100 წელი შეუსრულდებოდა ცნობილ ქართველ გეოფიზიკოსს, გეოლოგია-მინერალოგიის მეცნიერებათა დოქტორს, გეოფიზიკის ინსტიტუტის სეისმოძიების განყოფილების ხელმძღვანელს 1971-1994 წლებში პროფესორ მიხეილ იოსელიანს. ის ოთხი ათწლეულის მანძილზე ნაყოფიერად მოღვაწეობდა გეოფიზიკის ინსტიტუტში. მან დიდი წვლილი შეიტანა საქართველოში სეისმური ძიების მეთოდების დანერგვის, განვითარების და პრაქტიკული გამოყენების საქმეში. პროფესორ მიხეილ იოსელიანის მიერ მიღებულმა სამეცნიერო შედეგებმა

მნიშვნელოვნად გაამდიდრეს საქართველოს ტერიტორიისა და მიმდებარე რეგიონების სიღრმული აგებულების გეოლოგიური შესწავლილობა.

1944 წელს მულახის საშუალო სკოლის დამთავრების შემდეგ მ. იოსელიანი ჩაირიცხა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტზე. მთაში გაზრდილ ახალგაზრდას გაუჭირდა ქალაქურ ცხოვრებასთან შეგუება, დაანება სწავლას თავი, დაბრუნდა თავის სოფელში და დაიწყო მუშაობა სკოლაში მათემატიკის მასწავლებლად. შემდეგ, მამის სურვილის გათვალისწინებით, მომდევნო წელს ხელახლა ჩააბარა მისაღები გამოცდები თბილისის უნივერსიტეტში, მაგრამ ამჯერად გეოლოგია-გეოგრაფიის ფაკულტეტზე. სწავლობდა წარჩინებით, დაიმსახურა სტალინის სახელობის სტიპენდია. 1950 წელს დაამთავრა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი გეოლოგ-გეოფიზიკოსის სპეციალობით. იმავე წელს ჩაირიცხა ასპირანტურაში ძიების სეისმური მეთოდების განხრით. 1954 წელს ბატონმა მიხეილმა პროფესორების გ. თვალთვამისა და ი. კახაძის სამეცნიერო ხელმძღვანელობით თბილისის სახელმწიფო პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში წარმატებით დაიცვა დისერტაცია გეოლოგია-მინერალოგიის მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად თემაზე: „შიდა ქართლის ვაკეზე მიღებული გეოფიზიკური მონაცემების გეოფიზიკური ინტერპრეტაცია“, ხოლო 1983 წელს, ბაქოში, ძიების გეოფიზიკური მეთოდების საკავშირო სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის აზერბაიჯანის განყოფილებაში დაიცვა სადოქტორო დისერტაცია თემაზე „საქართველოს ტერიტორიის მთათაშუა დეპრესიისა და მიმდებარე რაიონების სიღრმული გეოლოგიური აგებულება გეოფიზიკური მონაცემების მიხედვით“.

1990 წელს მას საკავშირო საატესტაციო კომისიამ (BAK) პროფესორის წოდება მიანიჭა. 1971 წელს მ. იოსელიანი სეისმოძიების განყოფილების გამგედ დაინიშნა. განყოფილებამ კრისტალური ფუნდამენტის ზედაპირის მორფოლოგიისა და მისი სიღრმული-სტრუქტურულ-ტექტონიკური აგებულების შესწავლის მიზნით მ. იოსელიანის უშუალო მონაწილეობით და ხელმძღვანელობით საქართველოს სხვადასხვა კუთხეში ათობით ექსპედიცია ჩაატარა. აღნიშნულ კვლევებში პროფ. მ. იოსელიანის შრომებმა დიდი აღიარება მოიპოვა, როგორც საქართველოში, ისე მის ფარგლებს გარეთ. ეს შრომები დაედო საფუძვლად საქართველოს ტერიტორიისა და მისი მოსაზღვრე რაიონების ტექტონიკური და ნავთობ-გეოლოგიური რუკების შედგენას, რომლებიც ფართოდ გამოიყენება სედიმენტაციური აუზების პალეო-გეოგრაფიული რეკონსტრუირებისას და წარმოადგენს განმსა-

ზღვრელი მნიშვნელობის მასალას დანალექ საფარში ნავთობისა და გაზის რესურსების პროგნოზული შეფასებისთვის. ამ კვლევების შედეგები წარმატებით იქნა დანერგილი საქართველოს, აზერბაიჯანისა და სომხეთის სამეცნიერო-საწარმოო ორგანიზაციებში.

პროფ. მ. იოსელიანმა პირადად შეადგინა მეზოზოურის, კრისტალური ფუნდამენტისა და მოხოროვიჩის ზედაპირების სტრუქტურულ-ტექტონიკური რუკები, სიღრმული რღვევების რუკები და ლითოსფეროს სეისმური მოდელი საქართველოს ტერიტორიისათვის. აღნიშნული გეოლოგიური მასალა წარმოადგენს ძირითად და საკმარისად დადასტურებულ დოკუმენტებს საქართველოს ტერიტორიის სიღრმული აგებულების დასახასიათებლად. სეისმოძიების განყოფილების მიერ შესწავლილია აგრეთვე ისეთი მნიშვნელოვანი ობიექტების განთავსების სიღრმული გეოლოგიური აგებულება, როგორცაა ენგურჰესი, ჟინვალჰესი, ლაჯანურჰესი, სიონის წყალსაცავი და სხვ. აგრეთვე გამოკვლეულია მეწყრული მოვლენები და კარსტული უბნები ენგურჰესის და ჟინვალჰესის მიდამოებში, ტყიბულის, ამბროლაურის, სოხუმისა და გუდაუთის რაიონებში. პროფ. მ. იოსელიანის უშუალო მონაწილეობით დასაბამი დაედო დეფორმაციულ პროცესებზე რეჟიმულ, სეისმურ დაკვირვებებს ენგურის წყალსაცავის სათავე ნაგებობასთან ჰიდროკვანძის უსაფრთხო ექსპლუატაციის უზრუნველსაყოფად. პროფ. მ. იოსელიანი 200-მდე სამეცნიერო ნაშრომის ავტორია (მათ შორის მონოგრაფიების, სტატიების, საექსპედიციო ანგარიშების, პოპულარული ბროშურების და სხვ.). მისი სამეცნიერო ხელმძღვანელობით დაცულია 6 საკანდიდატო დისერტაცია. აი როგორ იხსენებს პროფ. მ. იოსელიანს მისი მოწაფე ფიზ.-მათ. მეცნ. აკადემიური დოქტორი მალხაზ გიგბერია: მას

„ბატონი მიხეილი იყო უაღრესად კეთილშობილი ადამიანი. განყოფილებაში მისვლისთანავე ვიგრძენი მისი მზრუნველი დამოკიდებულება. ნებისმიერ საკითხზე ყოველთვის ყურადღებით მისმენდა, ჩემთან ერთად აკეთებდა ანალიზს და, რაც მთავარია, მამლევდა შესაბამის რჩევებს. ამჟამად, რომ ვუკვირდები, ამ რჩევების საფუძველზე ჩამოვყალიბდი როგორც პროფესიონალი გეოფიზიკოსი და ყოველთვის მაღლიერების გრძნობით ვიხსენებ მას.“

ასევე იხსენებს ბატონ მიშას მისი ერთ-ერთი მოწაფე ფიზ.-მათ. მეცნ. აკადემიური დოქტორი დავით კიტოვანი: ბევრი რამის თქმა შეიძლება ბატონ მიშაზე, როგორც მეცნიერზე, მამულიშვილზე, სვანეთზე უზომოდ შეყვარებულ ადამიანზე, მაგრამ ამჯერად მის პიროვნულ თვისებებებს შევხები. იგი იყო უაღრესად კეთილი, ზოგჯერ გულჩვილიც, გადაყოლილი თავის თანამშრომლებზე და სეისმომეტრიის განყოფილების ერთ დიდ ოჯახად ჩამოყალიბებაში მას ლომის წილი მიუძღვის: ბატონი მიშა არ იყო მკაცრი ხელმძღვანელი. იგი ყოველთვის ცდილობდა თვალი დაეხუჭა და არ შეემჩნია მისი თანამშრომლების მიერ მცირეოდენი დისციპლინარული დარღვევები, ხოლო გარკვეული ზღვარის შემდეგ იძულებული იყო მიემართა „სადამსჯელო“ ღონისძიებებისათვის. მაგრამ როგორც კი ლაპარაკს ჩამოუგდებდით მისი ქალიშვილის – ცნობილი მოჭადრაკის ნანას შესახებ, მაშინვე მოლბებოდა. ასეთი პიროვნული თვისებების გამო ყოველთვის მაღლიერების გრძნობით ვიხსენებ მას.

პროფ. მიხეილ იოსელიანი იყო სანიმუშო მეოჯახე. მისი მეუღლე ქალბატონი ნათელა ხვედელიძე – ფიზ.-მათ. მეცნ. კანდიდატი – მუშაობდა გეოფიზიკის ინსტიტუტში გეომაგნეტიზმის განყოფილებაში. 1957 წელს იგი ხელმძღვანელობდა დუშეთის მაგნიტურ ობსერვატორიას, 1976 წლიდან კი თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გეოგრაფია-გეო-

ლოგიის ფაკულტეტის ძიების გეოფიზიკური მეთოდების კათედრის დოცენტი იყო. მათი შვილია სახელოვანი ქართველი მოჭადრაკე ნანა იოსელიანი.

ბატონი მიხეილის ცხოვრება ქართველი კაცის შრომისმოყვარეობის, ნიჭიერების და სამშობლოსა და ხალხის უანგარო სიყვარულის სანიმუშო მაგალითია. მან პირნათლად მოიხადა ვალი თავისი ქვეყნის წინაშე და დატოვა ნათელი ხსოვნა მეგობრებსა და კოლეგებში. 2001 წლის 22 ნოემბერს გეოფიზიკის ინსტიტუტში ჩატარდა პროფესორ მიხეილ იოსელიანის დაბადებიდან 75 წლისთავისადმი მიძღვნილი საიუბილეო სხდომა.

## ლიტერატურა

1. ვ. პაპალაშვილი. პროფესორი მიხეილ იოსელიანი. თბილისი. 2001 წ. 49გვ.

## ПРОФЕССОР МИХАИЛ СТЕПАНОВИЧ ИОСЕЛИАНИ

(1925 – 1992)

Исполнилось 100 лет со дня рождения известного грузинского геофизика, доктора геолого-минералогических наук, профессора Михаила Степановича Иоселиани, внесшего весомый вклад в дело развития наук о Земле в Грузии. М.С. Иоселиани родился 15 ноября 1925 г в селе Мулахи Местийского района (Сванети) в многодетной семье. Отец Михаила Степановича высоко ценивший силу знаний, дал своим детям достойное образование. М.С. Иоселиани успешно учился в Тбилиском государственном университете на геолого-географическом факультете, за отличную учебу заслужил Сталинскую стипендию. В 1950 году окончил университет со специальностью геолога-геофизика, поступил в аспирантуру Института геофизики и в 1954 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук на тему: «Геологическая интерпретация геофизических данных Внутренней Карталинской равнины», в 1983 году защитил докторскую диссертацию на тему «Глубинное геологическое строение межгорной впадины территории Грузии и смежных областей по геофизическим данным». С 1971 года до конца жизни занимал должность заведующего отделом сейсмометрии, которым раньше руководил основатель этого направления геофизики в Грузии, профессор Гурий Калистратович Твалтвадзе, сыгравший большую роль в определении научного пути М.С. Иоселиани. В 1980 году Михаил Степанович получил звание профессора.

В течение четырех десятилетий деятельности в Институте М.С. Иоселиани исследовал геофизическими методами разведки строение земной коры в различных частях Грузии, впервые составил для территории Грузии структурно-тектонические карты поверхностей мезозоя, кристаллического фундамента и Мохоровичича, а также карту глубинных разломов и сейсмическую модель литосферы, изучал глубинное геологическое строение территорий таких важных объектов, какими являются Ингури ГЭС, Жинвали ГЭС, Ладжанури ГЭС, Сионское водохранилище и др., проводил исследования оползневых явлений и изучал карстовые участки в окрестностях Ингури ГЭС, Жинвали ГЭС, в Ткибульском, Амбролаурском, Сухумском и Гудаутском районах. М.И. Иоселиани плодотворно сотрудничал с трестом «Грузнефтегеофизика» и управлением «Грузгеология». Он является автором около 200 научных и научно-популярных работ, в том числе нескольких монографий. Под научным руководством М.С. Иоселиани защищено несколько кандидатских диссертаций. С чувством гордости сообщаем, что известная шахматистка, гроссмейстер Нана Иоселиани – дочь Михаила Степановича Иоселиани.

Михаил Степанович Иоселиани был человеком честным, трудолюбивым, благородным, талантливым, преданным и любящим свою Родину.



**მეცნიერებათა დოქტორი კარლო ქართველიშვილი**  
**(1935 – 2019)**



ქართველ გეოფიზიკოსს, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორს, საქართველოს სახელმწიფო პრემიის ლაურეატს მეცნიერებისა და ტექნიკის დარგში, საქართველოს ეკოლოგიური მეცნიერების აკადემიის ნამდვილ წევრს, გეოფიზიკის ინსტიტუტის დედამიწის ფიზიკისა და გეომაგნეტიზმის სექტორის ხელმძღვანელს კარლო ქართველიშვილს 2025 წლი 1 ოქტომბერს 90 წელი შეუსრულდებოდა. მან 1954 წელს ოქროს მედალზე დაამთავრა თბილისის ვაჟთა 32-ე საშუალო სკოლა, ხოლო 1959 წელს – თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტი ნივთიერებათა აღნაგობის სპეციალობით.

კ. ქართველიშვილმა გარკვეული წვლილი შეიტანა საქართველოში გეოფიზიკის ერთ-ერთი ურთულესი და, იმავდროულად, ფრიად საინტერესო დარგის – მყარ დედამიწაში მიმოქცევითი მოვლენების – კვლევებში. აკადემიკოს ბ. ბალავაძესთან ერთად, მისი ხელმძღვანელობითა და უშუალო მონაწილეობით 1962 წელს დაარსდა თბილისის უნიკალური, ასეთი სახის დაკვირვებებისათვის სპეციალურად აღჭურვილი, მიმოქცევითი ლაბორატორია, სადაც 2010 წლის ივლისამდე მიმდინარეობდა დედამიწის მყარ ტანში მიმოქცევითი მოვლენების უწყვეტი მონიტორინგი, რისთვისაც გამოიყენებოდა თანამედროვე სამი ძირითადი – გრავიმეტრიული, ექსტენზომეტრიული და დახრისმზომითი მეთოდი. აღნიშნული ლაბორატორია კარლო ქართველიშვილის ხელმძღვანელობით 1969 წლიდან ფუნქციონირებდა, როგორც სოციალისტური ქვეყნების მეცნიერებათა აკადემიების პლანეტარულ გეოფიზიკაში მრავალმხრივი ურთიერთობების კომისიის (KAIF)-ს საერთაშორისო ცენტრი. 2010 წლის ივნისში საქართველოს თავდაცვის სამინისტროს კატეგორიული ულტიმატუმის შემდეგ გეოფიზიკის ინსტიტუტი იძულებული გახდა მოეხდინა ობსერვატორიაში არსებული აპარატურის ნაწილობრივი დემონტაჟი და 2010 წლის 22 ივნისს ობსერვატორიამ არსებობა შეწყვიტა.

მიუხედავად ამ უმძიმესი დარტყმისა, კარლო ქართველიშვილმა გააგრძელა კვლევები გეოფიზიკაში შემდეგი მიმართულებებით: შორეული მიწისძვრებით ინიცირებული ლოკალური სეისმურობის ტრიგერირება; საქართველოს ტერიტორიაზე არსებული ზოგიერთი ძლიერი მაგნიტური ანომალიის კომპლექსური კვლევა ბუნებრივი მაგნიტოთერაპიული კურორტის ბაზისური მოდელის შექმნის მიზნით. კარლო ქართველიშვილი აგრძელებდა სამუშაოებს დედამიწის მიწისქვეშა მიმოქცევით ობსერვატორიაში 1962-2010 წლებში მიღებული დაკვირვებითი მასალების მონაცემთა ბაზის შესაქმნელად; ის იკვლევდა დედამიწის მყარ ტანში მიმდინარე პროცესებს გრავიმეტრებით, ექსტენზომეტრებით და დახრისმზომებით ჩატარებული უწყვეტი მონიტორინგის მონაცემებით; იკვლევდა შორეული მიწისძვრებით ინიცირებულ ლოკალური სეისმურობის ტრიგერირების მოვლენებს, კომპლექსურად იკვლევდა საქართველოს ტერიტორიაზე არსებულ ზოგიერთ ძლიერ მაგნიტურ ანომალიას ბუნებრივი მაგნიტოთერაპიული კურორტის ბაზისური მოდელის შექმნის მიზნით; 1994 წელს კარლო ქართველიშვილს მკვლევარების ჯგუფთან ერთად მიენიჭა საქართველოს რესპუბლიკის სახელმწიფო პრემია მეცნიერებისა და

ტექნიკის დარგში 1978-1992 წლებში შესრულებული შრომათა ციკლისათვის „გეოფიზიკური, გეოლოგიური და საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტის გრავიმეტრიული მეთოდების დამუშავება და რეალიზაცია“.

ფიზ.-მათ მეცნ. დოქტორი კარლო ქართველიშვილი 2016 წელს დაჯილდოვდა ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის საიუბილეო მედლით. ბატონი კარლო იყო ფრიად ნიჭიერი, ფართო განათლების მქონე მეცნიერი. ის გარდაიცვალა 2019 წლის 19 სექტემბერს.

## ლიტერატურა

1. პროფ. ჯ. ქირია, ლ. დარახველიძე, აკად. დოქ. მ. ნიკოლაიშვილი, „კარლო ქართველიშვილის ბიობიბლიოგრაფია“. თბილისი. 2015 წ.

### **Карло Захарьевич Картвелишвили (1935 – 2019)**

С именем грузинского геофизика, доктора физико-математических наук, лауреата Государственной премии Грузии по науке и технике, действительного члена Академии экологических наук Грузии, руководителя сектора физики Земли и геомагнетизма Института геофизики Карло Захарьевича Картвелишвили связаны значительные этапы развития грузинской геофизической науки, среди которых заслуживают внимание исследования приливных явлений в твердой Земле – одной из сложнейших и одновременно очень интересных отраслей геофизики. Под руководством акад. Б. К. Балавадзе и при непосредственном участии К.З. Картвелишвили в 1962 году в Тбилиси была основана уникальная для таких наблюдений специально оборудованная подземная приливная лаборатория, в которой до июля 2010 года производился непрерывный мониторинг приливных явлений в твердом теле Земли основными современными методами – гравиметрическим, экстензометрическим и наклономерным. Под руководством К.З. Картвелишвили с 1969 года эта лаборатория функционировала как Международный Центр комиссии по многостороннему сотрудничеству академий наук социалистических стран (КАПГ) по планетарной геофизике.

Доктор физ.-мат. наук Карло Захарьевич Картвелишвили родился 1 октября 1935 года, в 1954 году с золотой медалью окончил Тбилисскую №32 мужскую среднюю школу, а в 1959 году физический факультет Тбилисского государственного университета. С 1959 года до конца жизни работал в Институте геофизики. Прекрасный специалист, разносторонний ученый Карло Захарьевич скончался 19 сентября 2019 года.

## ნ ე კ რ ო ლ ო გ ე ბ ი

### OBITUARIES

#### ერეკლე გამყრელიძის ხსოვნას (08. 05.1933—05.12.2025)



ერეკლე გამყრელიძე – ქართველი გეოლოგი, გეოლოგიურ-მინერალოგიურ მეცნიერებათა დოქტორი (1974), პროფესორი (1984), საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტი (1983), საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი (1984).

ერეკლე გამყრელიძე ცნობილი ქართველი გეოლოგის პეტრე გამყრელიძის შვილია. 1958 წლიდან მუშაობს ჯანელიძის გეოლოგიის ინსტიტუტში, 1988 წლიდან საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის დედამიწის შემსწავლელ მეცნიერებათა განყოფილების აკადემიკოს-მდივანი, ალექსანდრე ჯანელიძის გეოლოგიის ინსტიტუტის ტექტონიკის, რეგიონული გეოლოგიისა და სეისმოტექტონიკის განყოფილების ხელმძღვანელი. 1974 წელს დაიცვა სადოქტორო დისერტაცია თემაზე: „ტექტონიკური სტრუქტურების ფორმირების მექანიზმი და ტექტოგენეზის ზოგიერთი ზოგადი პრობლემა“.

1961-1966 წლებში – საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოლოგიური ინსტიტუტის უმცროსი მეცნიერ თანამშრომელი; 1966-1975 წლებში – საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოლოგიური ინსტიტუტის უფროსი მეცნიერ თანამშრომელი; 1975 წლიდან დღემდე კი ხელმძღვანელობდა ალექსანდრე ჯანელიძის გეოლოგიის ინსტიტუტის ტექტონიკის, რეგიონული გეოლოგიისა და სეისმოტექტონიკის განყოფილებას.

ერეკლე გამყრელიძის ძირითადი შრომები ეხება რეგიონულ გეოლოგიასა და გეოტექტონიკას, დეტალურ და რეგიონულ სტრუქტურულ ანალიზს, პლანეტარული ნაპრალოვნების კვლევას, ტექტონიკური სტრუქტურების წარმოშობის მექანიზმს, შარიაყების მორფოლოგიურ-კინემატიკურ თავისებურებებსა და მათ გენეზისს, ხმელთაშუა ზღვის მოძრავი სარტყლის გეოდინამიკურ ევოლუციასა და სეისმოტექტონიკას, ლითოსფეროსა და დედამიწის ქერქის ჰორიზონტალურ – ტექტონიკურ განშრევებასა და ტექტოგენეზისის ზოგად პრობლემებს.

ე. გამყრელიძე არის საერთაშორისო ტექტონიკური რუკების კომისიის წევრი. საქართველოს ეროვნული პრემიის (2018), ალექსანდრე ჯანელიძისა (1986) და ალექსანდრე თვალჭრელიძის (2008) სახელობის პრემიების ლაურეატი, მინიჭებული აქვს სრულიად საქართველოს კათოლიკოს-პატრიარქის სიგელი, დაჯილდოებულია ღირსების ორდენით (1998).

ე. გამყრელიძე მრავალი წლის განმავლობაში იყო მ. ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომების კრებულის სარედაქციო კოლეგიის წევრი.

ერეკლე გამყრელის ცხოვრება და მოღვაწეობა მეცნიერებისადმი ერთგული დამოკიდებულების შესანიშნავი მაგალითია. მისი ნათელი ხსოვნა სამუდამოდ დარჩება მეგობრებისა და კოლეგების მეხსიერებაში.

*თსუ-ს მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი*

### **გიორგი (გია) კორძაბიას ხსოვნას (08. 09.1947—29.10.2025)**



გაუსაძლისად მძიმეა იმის აღქმა, რომ ჩვენს გვერდით აღარ არის ცნობილი ქართველი მეცნიერი, უმაღლესი პროფესიონალიზმით, თავმდაბლობითა და კეთილშობილებით გამორჩეული ადამიანი – გიორგი (გია) კორძაბია.

გია კორძაბია დაიბადა 1947 წლის 8 სექტემბერს. წარჩინებით დაამთავრა თბილისის 42-ე ფიზიკა-მათემატიკური სკოლა, რის შემდეგაც სწავლა განაგრძო თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტზე, რომელიც 1970 წელს თეორიული ფიზიკოსის სპეციალობით დაამთავრა.

მეცნიერებისადმი სიყვარულმა და შრომისმოყვარეობამ იგი ჰიდრომეტეოროლოგიის სფეროში მიიყვანა. სფეროში, რომელსაც მთელი თავისი ცხოვრება მიუძღვნა. 1975 წელს მსოფლიოში ერთერთ აღიარებულ საბჭოთა კავშირის ჰიდრომეტეოროლოგიურ ცენტრში, მოსკოვში, წარმატებით დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია მეტეოროლოგიური პროცესების ოთხგანზომილებიან მოდელირებაში და ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატის ხარისხი მიენიჭა.

გია კორძაბიას მრავალწლიანი მოღვაწეობა დაკავშირებულია ამიერკავკასიის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტთან, სადაც მან გაიარა გზა უმცროსი მეცნიერ თანამშრომლიდან ლაბორატორიის გამგემდე. 1997 წლიდან იგი მუშაობდა საქართველოს გარემოს ეროვნული სააგენტოს ჰიდრომეტეოროლოგიის დეპარტამენტის უფროსის მოადგილედ და ბოლოს სააგენტოს უფროსის მრჩეველად. იგი პარალელურად მუშაობდა ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში და განაგრძობდა სამეცნიერო საქმიანობას.

მისი სამეცნიერო ინტერესები მოიცავდა ატმოსფერული პროცესების დინამიკას და მოდელირებას, კლიმატის ცვლილების ფიზიკურ და გლობალურ ასპექტებს, გარემოს დაბინძურების პრობლემებს, ჰიდროლოგიასა და გლაციოლოგიას. განსაკუთრებული ადგილი გია კორძაბიას ნაშრომებში მყინვარების შესწავლას უკავია. იგი ხელმძღვანელობდა არაერთ მნიშვნელოვან ეროვნულ და საერთაშორისო პროექტს, მათ შორის შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტებს – „საქართველოს მყინვარების ელექტრონული ატლასის“ შექმნისა და მყინვარების დეგრადაციის კვლევის მიმართულებით. ამ გამოკვლევებში პირველად რაოდენობრივად შეფასდა საქართველოს მყინვარების დეგრადაცია გლობალური დათბობის გავლენით. მან თავისი დიდი გამოცდილებითა და

თავდადებული საქმიანობით დიდი წვლილი შეიტანა ჰიდრომეტეოროლოგიის განვითარებაში.

გია კორძახია აქტიურად მონაწილეობდა მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის, გაეროსა და ევროპის სამეცნიერო პროგრამების მრავალ პროექტში, არაერთ საერთაშორისო ფორუმზე წარადგინა საქართველოს სახელით მნიშვნელოვანი სამეცნიერო შედეგები. მისი ავტორობით გამოქვეყნებულია 150-ზე მეტი სამეცნიერო სტატია და 3 მონოგრაფია.

მისი გამორჩეული ღვაწლი აღიარებული იყო სახელმწიფო ჯილდოებით – დაჯილდოებული იყო საქართველოს მთავრობის ორი ღირსების მედლით, იყო საქართველოს ეკოლოგიურ მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი და ვიცე-პრეზიდენტი.

ჩვენ, მისმა მეგობრებმა და კოლეგებმა დავკარგეთ მაღალი დონის პროფესიონალი, ნამდვილი ინტელიგენტი და კეთილშობილი ადამიანი, ხოლო ოჯახმა არაჩვეულებრივი მეუღლე, მამა, ძმა და ბაბუა. გია კორძახიას ნათელი ხსოვნა სამუდამოდ დარჩება ჩვენს შორის.

*სტუ-ს ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი*

### **In Memory of Giorgi (Gia) Kordzakhia (08. 09.1947–29.10.2025)**

It is intolerably hard to comprehend that one of the exceptional Georgian scientists, a person distinguished by the highest professionalism, modesty and openhandedness – Giorgi (Gia) Kordzakhia is no longer with us.

Gia Kordzakhia was born on September 8, 1947. He graduated with honors from the 42nd Tbilisi School of Physics and Mathematics, after he continued his studies at the Faculty of Physics of Tbilisi State University, which he graduated in 1970 with a degree in theoretical physics.

The love of science and diligence led him to the field of hydrometeorology – the field to which he devoted his entire life. In 1975, he successfully defended his PhD thesis on four-dimensional modeling of meteorological processes at one of the world's most recognized hydrometeorological centers of the Soviet Union, in Moscow, and was awarded the degree of Candidate of Physical and Mathematical Sciences.

Gia Kordzakhia's long-standing career is connected with the Institute of Hydrometeorology of the South Caucasus, where he progressed from a junior scientific associate to the head of the laboratory. Since 1997, he worked as the deputy head of the Hydrometeorology Department at the National Environment Agency of Georgia and finally as an advisor to the head of the agency. In parallel, he worked at the Hydrometeorology Institute of the Technical University and continued his scientific activity.

His scientific interests included the dynamics and modeling of atmospheric processes, physical and global aspects of climate change, problems of environmental pollution, hydrology and glaciology. A distinguished place in Gia Kordzakhia's works is occupied by the study of glaciers. He led numerous important national and international projects, including the Shota Rustaveli National Science Foundation grants – “Electronic Atlas of Georgian Glaciers” and research on glacier degradation. In these studies, the degradation of Georgia's glaciers was quantified for the first time as influenced by global warming. With his extensive experience and dedicated work, he made a substantial contribution to the development of hydrometeorology.

Gia Kordzakhia actively participated in many projects of the World Meteorological Organization, the United Nations and European scientific programs, and presented important scientific results on

behalf of Georgia at a number of international forums. He has published more than 150 scientific articles and 3 monographs.

His notable contributions were recognized with state honors – he was awarded two Medal of Honor by the Government of Georgia. He was an academician and vice-president of the Georgian Academy of Ecological Sciences.

We, his friends and colleagues have lost a high-level professional, a true intellectual and a noble person, while his family has lost an exceptional spouse, father, brother, and grandfather. May God sanctify and bless Mr. Giorgi (Gia) Korzakhia's immortal soul, and may God grant him a place among the righteous. Amen.

*Institute of Hydrometeorology, GTU*

**სარჩევი – Содержание – Content**

გოგუა რ., მათიაშვილი თ. – დუშეთის (თბილისის) მაგნიტურ ობსერვატორიაში დაფიქსირებული დედამიწის მაგნიტური ველის საუკუნეობრივი ვარიაციები Gogua R., Matiashevili T. – Secular Variations of the Earth’s Magnetic Field Recorded at the Dusheti (Tbilisi) Magnetic Observatory During 1880-2025 Гогоуа Р., Матиашвили Т. – Вековые вариации магнитного поля, зафиксированные в магнитной обсерватории Душети (Тбилиси)	5-9
კიტოვანი დ. – $t_0$ -ს მოდიფიცირებული მეთოდი Kitovani D. – The Modified Version of $t_0$ Method Китовани Д. – Модифицированный метод $t_0$	10-12
Sborshchikovi A., Mepharidze E., Chelidze T. – Estimating Quantile Functions in Temporal Earthquake Analysis სბორშიკოვი ა., მეფარიძე ე., ჭელიძე თ. – დროითი მიწისძვრის ანალიზით კვანტილის ფუნქციების შეფასება Сборщикова А., Мепаридзе Е., Челидзе Т. – Оценка функции квантиля с помощью анализа землетрясений во времени	13-19
ოდილავაძე დ., ჭელიძე თ., ღლონტი ნ., ქირია ჯ., იავოლოვსკაია ო. – ნინოწმინდის სამონასტრო კომპლექსის ტერიტორიის არქეოგეორადიოლოკაციური კვლევა Odilavadze D., Chelidze T., Glonti N., Kiria J., Yavolovskaya O. – Archaeogeoradiolocation Research of the Territory of the Ninotsminda Monastery Complex Одилавадзе Д., Челидзе Т., Глонти Н., Кирия Дж., Яволовская О. – Археогорадиолокационные исследования территории монастырского комплекса Ниноцминда	20-34
Бойнагрян В. – Последствия селя весной 2024 г. в бассейне реки Далар (правый приток р. Раздан, Армения) ბოინაგრიანი ვ. – ღვარცოფის შედეგები 2024 წლის გაზაფხულზე მდინარე დალარის აუზში (მდინარე ხრაზდანის მარჯვენა შენაკადი, სომხეთი) Boynagryan V. – Consequences of a Mudflow in the Spring of 2024 in the Dalar River Basin (Right Tributary of the Hrazdan River, Armenia)	35-41
Бойнагрян В., Айриянц А. – Роль человеческого фактора в авариях на водохранилищах Армении ბოინაგრიანი ვ., აირიანცი ა. – ადამიანის ფაქტორის როლი ავარიებში სომხეთის წყალსაცავებზე Boynagryan V., Airiyants A. – The Role of the Human Factor in Accidents on the Reservoirs of Armenia	42-48
Amiranashvili A., Brocca L., Chelidze T., Kiria T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Varamashvili N. – Statistical Analysis of the Relationship Between Monthly and Cumulative Multi-Month Sums of Precipitation with the Number of Landslides in the Regions of Georgia ამირანაშვილი ა., ბროკა ლ., ჭელიძე თ., ქირია თ., სვანაძე დ., წამალაშვილი თ., ვარამაშვილი ნ. – საქართველოს რეგიონებში ყოველთვიური და დაგროვილი მრავალთვიანი ნალექების ჯამსა და მეწყერების რაოდენობას შორის კავშირის სტატისტიკური ანალიზი Амиранашвили А., Брокка Л., Челидзе Т., Кирия Т., Сванадзе Д., Цамалашвили Т., Варамашвили Н. – Статистический анализ связи месячных и накопленных многомесячных сумм осадков с количеством оползней в регионах Грузии	49-66
Amiranashvili A., Brocca L., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Varamashvili N. – Variability of the Annual Number of Registered Landslides and Mudflows in Georgia in 1995-2024 and their Expected Change up to 2030	67-74

ამირანაშვილი ა., ბროკა ლ., ჭელიძე თ., სვანაძე დ., წამალაშვილი თ., ვარამაშვილი ნ. – საქართველოში რეგისტრირებული მეწყერებისა და ღვარცოფების წლიური რაოდენობის ცვალებადობა 1995-2024 წლებში და მათი მოსალოდნელი ცვლილება 2030 წლამდე Amiranashvili A., Brokka L., Chelidze T., Swanadze D., Chamalashvili T., Varamashvili N. – Изменчивость ежегодного числа зарегистрированных оползней и селей в Грузии в 1995-2024 годах и их ожидаемое изменение до 2030 года	
კერესელიძე ზ. – მსხვილმასშტაბოვანი ატმოსფერული გრიგალების ფაზურ პორტრეტებთან დაკავშირებით Kereselidze Z. – About the Phase Portraits of Large-Scale Atmospheric Vortices Кереселидзе З. – К вопросу фазовых портретов крупномасштабных атмосферных вихрей	75-87
სურმავა ა., გიგაური ნ., კუხალაშვილი ვ., ინჭკირველი ლ.ნ., სესაძე ვ. – ქ. ქუთაისის ჰაერის PM2.5-ით დაბინძურების სიმულაცია მიწისპირა შტილისა და თავისუფალ ატმოსფეროში ბაროკლინური დასავლეთის ქარის შემთხვევაში Surmava A., Gigauri N., Kukhalashvili V., Intskirveli L., Sesadze V. – Modeling of Air Pollution in C. Kutaisi PM2.5 under Calm Conditions on Land and Baroclinic Westerly Winds in the Free Atmosphere Сурмава А., Гигаური Н., Кухалашвили В., Инцкирвели Л., Сесадзе В. – Моделирование загрязнения воздуха г. Кутаиси PM2.5 в условиях штиля на суше и бароклиных западных ветров в свободной атмосфере	88-97
ამირანაშვილი ა., ბლიაძე თ., კერესელიძე ზ., ჩიხლაძე ვ. – თსუ-ს მ. ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ატმოსფეროს ფიზიკის სექტორის მონაწილეობით 2024 წელს გამოქვეყნებული სამეცნიერო ნაშრომების მოკლე მიმოხილვა Amiranashvili A., Bliadze T., Kereselidze Z., Chikhladze V. – Some Results of Research Conducted in the Department of Atmospheric Physics of M. Nodia Institute of Geophysics, TSU in 2014-2023 Амиранашвили А., Блиадзе Т., Кереселидзе З., Чихладзе В. – Краткий обзор опубликованных научных работ, выполненных с участием сектора физики атмосферы института геофизики им. М. Нодиа, ТГУ в 2024 году	98-116
ქირია თ., ნიკოლაიშვილი მ., ჩხაიძე თ. – დროითი პარამეტრების სტატისტიკური ანალიზი და საათობრივი კატეგორიული რიგების სტაციონარულობის შეფასება Kiria T., Nikolaishvili M., Chkhaidze T. – Statistical Analysis of Time Parameters and Stationarity Assessment of Hourly Categorical Series Кириа Т., Николаишвили М., Чхаидзе Т. – Статистический анализ временных параметров и оценка стационарности часовых категориальных рядов	117-121
ქირია ჯ., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ., ცაგურია თ., საყვარელიძე ე. – ორკოორდინატანი ფარდობითი მოძრაობის ლაზერული ხელსაწყოს შემუშავება და გამოცდა ლაბორატორულ პირობებში Kiria J., Dovgal N., Davitashvili L., Tsaguria T., Sakvarelidze E. – Development and Testing of a Two-Coordinate Relative Motion Laser Device under Laboratory Conditions Кириа Дж., Довгаль Н., Давиташвили Л., Цагурия Т., Сакварелидзе Е. – Разработка и испытания двухкоординатного лазерного устройства относительного перемещения в лабораторных условиях	122-126
ჯახუტაშვილი მ., თარხან-მოურავი ა. – მდინარე კაბალზე დაგეგმილი კაბალი ჰესის ნაგებობათა განსათავსებელ ადგილებზე ჩატარებული გეოფიზიკური კვლევის შედეგები Jakhutashvili M., Tarkhan-Mouravi A. – Results of Geophysical Surveys Conducted at the Locations of the Planned Kabali HPP Structures on the Kabali River Джахуташвили М., Тархан-Моурави А. – Результаты геофизической съемки планируемых сооружений Кабальской ГЭС на реке Кабали	127-131
ინფორმაცია ინსტიტუტის სამეცნიერო ბიბლიოთეკის შესახებ	132-133
იუბილეები/Юбилеи	134-137
ვიხსენებთ კოლეგებს/Памяти коллег	138-153
ნეკროლოგები/Obituaries	154-157



ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

IVANE JAVAKHISHVILI TBILISI STATE UNIVERSITY

ТБИЛИССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

им. И. ДЖАВАХИШВИЛИ

მიხეილ ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ტ. LXXVIII, 2025

Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, vol. LXXVIII, 2025

Труды Института геофизики им. Михаила Нодиа, т. LXXVIII, 2025

ტირაჟი 40 ც.

სამეცნიერო საგამომცემლო ჯგუფის ხელმძღვანელი – ლ. დარახველიძე.

Circulation 40 copies.

Representative of scientifically-publishing group – L. Darakhvelidze.

Тираж 40 экз.

Руководитель научно-издательской группы – Л. К. Дарахвелидзе.

ISSN 1512-1135

E-mail: [avtandilamiranashvili@gmail.com](mailto:avtandilamiranashvili@gmail.com); [geophysics.transactions@tsu.ge](mailto:geophysics.transactions@tsu.ge)

<https://scholar.google.com/citations?user=EdMkYoYAAAAJ&hl=en>

<http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/254>

თბილისი

Tbilisi 2025 Тбилиси