

მიხეილ ნოდიას გეოფიზიკის ინსტიტუტი
შრომათა კრებული

ИНСТИТУТ ГЕОФИЗИКИ ИМ. М. НОДИА
СБОРНИК ТРУДОВ

MIKHEIL NODIA INSTITUTE OF GEOPHISICS
PROCEEDINGS

LXXVI



2023

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

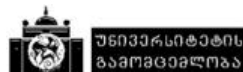
ტ. LXXVI

TRANSACTIONS

vol. LXXVI

СБОРНИК ТРУДОВ

т. LXXVI



მთავარი რედაქტორი: ამირანაშვილი ა.

Editor-in-Chief: Amiranashvili A.

Главный редактор: Амиранашвили А.Г.

სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭო:

ადამია შ., აჯიევი ა. (ყაბარდო-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., ზაალიშვილივ. (რესპუბლიკა ჩრდილოეთ ოსეთი-ალანია, რუსეთი), თავართქილაძე კ., კერესელიძე ზ., მამაძლი ტ. (აზერბაიჯანი), მელიქაძე გ., მეტრეველი გ., მინდელი პ. ნიკოლაიშვილი მ. (მდივანი), პეტროსიანი ჰრ. (სომხეთი), პოვოლოცკაია ნ. (რუსეთი), ჟოვინსკი ე. (უკრაინა), სენიკი ი. (რუსეთი), ტატიშვილი მ., ქირია თ., ქირია ჯ., ლლონტი ნ., ჩაგელიშვილი გ., ჭელიძე თ., ხარშილაძე ო., ხვედელიძე ზ.

THE EDITORIAL AND PUBLISHING BOARD:

Adamia Sh., Adjiev A. (Kabardino-Balkar Republic, Russia), 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., Khvedelidze Z., Kiria J., Kiria T., Mammadli T. (Azerbaijan), Melikadze, G., Metreveli G., Mindeli P., Nikolaishvili M. (secretary), Petrosyan Hr. (Armenia), 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), Бендерев А.Д. (Болгария), Бердзенишвили Н.М., Болашвили Н.Р., Варамашвили Н.Д., Гамкრелидзе И.П., Гвенцадзе Т.Г., Глonti 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., Кириа Дж. К., Кириа Т.В., Маммадли Т. (Азербайджан), Меликадзе Г.И., Метревели Г.С., Миндели П.Ш. Николайшвили М. М. (секретарь), Петросян Г.М. (Армения), Поволоцкая Н.П. (Россия), Сеник И.А. (Россия), Таварткиладзе К.А., Татишвили М.Р., Харшиладзе О.А., Хведелидзе З.В., 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

0179 Tbilisi, ილია ჭავჭავაძის გამზირი 1

1 Iliа Chavchavadze Avenue, Tbilisi 0179

0179 Тбилиси, просп. И.Чавчавадзе, 1

Tel 995 (32) 225 14 32

© ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2023

Publish Hous of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, 2023

Издательство Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили, 2023

ISSN 1512-1135

თსუ, მ. ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი – 90

დარახველიძე ლ.

*ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
მ. ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი*

90 წლის წინ, 1933 წლის 1 ნოემბერს საქართველოს მთავრობის დადგენილებით დაარსდა სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ამიერკავკასიის ფილიალის საქართველოს განყოფილების გეოფიზიკური ინსტიტუტი. ამჟამად, ეს არის ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი.

გეოფიზიკის ინსტიტუტი დაარსდა თბილისის გეოფიზიკური ობსერვატორიის ბაზაზე. ცნობილია, რომ მე-19 საუკუნის 30-იან წლებში, დედამიწის მაგნიტური ველის შესწავლის მიზნით, მსოფლიო მნიშვნელობის მეცნიერების ა. ჰუმბოლტის და კ. გაუსის ინიციატივით, მსოფლიოს სხვადასხვა რეგიონში დაიწყო მაგნიტური ობსერვატორიების მშენებლობა, რომელთაგანაც ერთ-ერთი იყო თბილისის მაგნიტურ-მეტეოროლოგიური ობსერვატორია (1867 წლიდან – კავკასიის მთავარი ფიზიკური, ხოლო 1924 წლიდან – საქართველოს გეოფიზიკური). ობსერვატორიის დაარსების თარიღია 1844 წლის 1 მაისი, ვინაიდან ამ დროს ეყრება საფუძველი უწყვეტ დაკვირვებებს. მისი პირველი დირექტორი იყო თბილისის პირველი გიმნაზიის მათემატიკის მასწავლებელი ა.ფილადელფინი. ობსერვატორია ფუნქციონირებდა სოლოლაკის გორაზე, საიდანაც მალე, უკეთესი პირობების ძიების მიზნით, გადაიტანეს მთაწმინდის ციცაბო ფერდობზე, შემდეგ კი – ავლაბარში. არც ავლაბარში აღმოჩნდა ობსერვატორიისათვის შესაფერისი ადგილი. ობსერვატორიის დირექტორმა, ცნობილმა გერმანელმა მეცნიერმა არნოლდ მორიცმა დაკვირვებათა საჭირო დონეზე წარმოებისათვის, თბილისის გარეუბნის – კუკიის მიწაზე, გერმანელ კოლონისტთა დასახლებაში ააგო ახალი თანამედროვე ობსერვატორია (ამჟამად დავით აღმაშენებლის პროსპ. 150; კოორდინატები: განედი $41^{\circ}43'$, გრძედი $44^{\circ}48'$; სიმაღლე ბალტიის ზღვის დონიდან: 403 მ.). ახალ შენობაში დაკვირვებები 1862 წლის 1 მაისს დაიწყო. ობსერვატორიაში მუშაობა სანიმუშოდ მიმდინარეობდა. მის წიაღში ახალი დარგები იწყებდა განვითარებას და დაკვირვებით საქმიანობასთან ერთად, კავკასიის მასშტაბით ხორციელდებოდა დიდი მოცულობის კომპლექსური სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები. 1899 წლის დეკემბერში იმჟამინდელმა ობსერვატორიის დირექტორმა, პოლონელმა სეისმოლოგმა შტეფან ჰლასკემა განახორციელა და წარმატებით განავითარა სეისმოლოგიური დაკვირვებები. ობსერვატორიაში მიმდინარეობდა ასტრონომიული, გრავიმეტრიული სამუშაოები და სხვ. ობსერვატორიის დაარსება თბილისში ჭეშმარიტად დიდი მოვლენა იყო. საერთოდ იყო აღიარებული, რომ თბილისის ობსერვატორიას რუსეთის ობსერვატორიათა ქსელში დამსახურებული ჰქონდა პრესტიჟული სამეცნიერო დაწესებულების სახელი. ამ პერიოდში ეს იყო

მთელ კავკასიაში ერთადერთი სამეცნიერო დაწესებულება (ცნობისათვის: ამავე პერიოდში, 1845 წელს თბილისში დაარსდა სამეცნიერო-კვლევითი, სასწავლო-დამხმარე და კულტურულ-საგანმანათლებლო დაწესებულება – ბოტანიკური ბაღი და კავკასიაში ერთადერთი მხარეთმცოდნეობის მუზეუმი).

პირველი მსოფლიო ომის პერიოდში მდგომარეობა ობსერვატორიაში მკვეთრად შეიცვალა. ჩამოსული სპეციალისტები გაეცალნენ თბილისს, ობსერვატორიაში მუშაობა მნიშვნელოვნად დაქვეითდა. უცხოელთაგან მიტოვებული, ფაქტობრივად უმოქმედო თბილისის ობსერვატორიის აღდგენა ძირითადად ქართველ მოღვაწეებს ერგოთ წილად. 1918 წელს ობსერვატორიის დირექტორად დაინიშნა ცნობილი ასტრონომ-გეოდეზისტი, რუსეთის გენერალ-ლეიტენანტი, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტისა და საქართველოს ტექნიკური ინსტიტუტის ერთ-ერთი დამაარსებელი ანდრია ბენაშვილი (1918-1922 წწ.); 1923-1934 წლებში ობსერვატორიას ხელმძღვანელობდა ცნობილი მეცნიერი, ენერგეტიკოსი, შემდგომ აკადემიკოსი, თბილისისა და ოდესის პოლიტექნიკური ინსტიტუტების ერთ-ერთი დამაარსებელი, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის კათედრის დამფუძნებელი და მისი გამგე ალექსანდრე დიდებულიძე; 1925 წლამდე ობსერვატორიის მართვას უძღვებოდა ნოვოროსიისკის და ხარკოვის უნივერსიტეტების აღზრდილი, მთავარი ფიზიკური ობსერვატორიის (ლენინგრადი) მაგნიტური განყოფილების გამგე, პავლოვსკის დედამიწის მაგნეტიზმისა და ატმოსფეროს ელექტრობის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის დირექტორი რაჟდენ ხუციშვილი; 1925-1929 წლებში ობსერვატორიას ხელმძღვანელობდა ნოვოროსიის (ოდესა) უნივერსიტეტის აღზრდილი, გეოფიზიკოსი, მაგნიტოლოგი, საქართველოში გეოფიზიკური სკოლის ფუძემდებელი, პროფ. მიხეილ ნოდია. აღნიშნული მოღვაწეების თავდადებად შრომას უკავშირდება ობსერვატორიის სიცოცხლისუნარიანობა, შემდგომი აღმავლობა და მაღალი მეცნიერული დონე. დიდი დახმარება გაუწიეს ობსერვატორიას თბილისში მყოფმა, ერთ დროს ობსერვატორიის ვიცე-დირექტორმა, რუდოლფ ასაფრეიმ, მაგნიტოლოგმა შალვა ფავლენიშვილმა (1898-1938), თბილისის ობსერვატორიის ზუსტ ხელსაწყოთა მექანიკოსებმა ფლორენტინ და არნოლდ ვაისებმა და სხვა მოღვაწეებმა.

ობსერვატორიაში მოღვაწეობდნენ გამოჩენილი მეცნიერები: აკად. ალ. ჯავახიშვილი, აკად. ნ. მუსხელიშვილი, აკად. ი. ვეკუა, აკად. ე. ხარაძე, აკად. თ. დავითაია, აკად. ბ. ბალაძე, პროფ. გ. თვალთვაძე, მეცნ. კანდიდატები – ალ. ცხაკაია, ვ. ქებულაძე და სხვ.

გეოფიზიკური ინსტიტუტის დაარსების ინიციატორები იყვნენ: აკადემიკოსი ნ. მუსხელიშვილი, ყოფილი სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის სეისმოლოგიური ინსტიტუტის დირექტორი, აკადემიის წევრ-კორესპონდენტი პ. ნიკიფოროვი, პროფ. მ. ნოდია, ფიზ.-მათ. მეცნ. კანდიდატი, სეისმოლოგი ალ. ცხაკაია და იურევის უნივერსიტეტის აღზრდილი, პროფ. ევგ. ბიუსი. 1921 წლიდან პროფ. ევგ. ბიუსი მუშაობდა თბილისის ფიზიკურ ობსერვატორიაში სეისმური განყოფილების გამგედ. თბილისის ტელესეისმურ სადგურში მან აღადგინა სამოქალაქო ომის წლებში მოშლილი სეისმოლოგიური დაკვირვებები და სულ მოკლე დროში თბილისი ფაქტობრივად ხდება კავკასიაში სეისმოლოგიური დაკვირვებების ცენტრი. მიუხედავად თბილისის სეისმოსადგურის მაღალი რეპუტაციისა, პროფ. ევგ. ბიუსი თვლიდა, რომ ინსტრუმენტალური დაკვირვებების სისტემის საჭირო პროგრესს უზრუნველყოფენ სეისმოლოგიური კვლევები, რომ სეისმოლოგიური მეცნიერების მრავალმხრივი განვითარება შესაძლებელია მხოლოდ მეცნიერებათა აკადემიასთან მჭიდრო

კონტაქტში. თავისი ეს პოზიცია მან წერილობით აცნობა პროფ. პ. ნიკიფოროვს, რომელმაც უპასუხა, რომ მეცნიერებათა აკადემიასთან თანამშრომლობას ის ჭეშმარიტად მიესალმებოდა.

გეოფიზიკის ინსტიტუტის შექმნის და შემდგომ მისი მუშაობის ძირითადი წარმართველი პროფ. მ. ნოდია იყო. პროფ. პ. ნიკიფოროვი აღნიშნავდა, რომ პროფ. მ. ნოდია არის ინსტიტუტის დაარსების ერთ-ერთი ინიციატორი და ორგანიზატორი. აკად. ნ. მუსხელიშვილი თვლიდა, რომ „პროფ. მ. ნოდია არის ფართო მასშტაბის მნიშვნელოვანი გეოფიზიკური სამუშაოების ორგანიზატორი. მან თავის მხრებზე გადაიტანა გეოფიზიკის ინსტიტუტის შექმნის ყველა სიძნელეები, განსაკუთრებით დიდი წვლილი შეიტანა გეოფიზიკაში ნაციონალური კადრების აღზრდის საქმეში“. ბატონ მიხეილ ნოდის დამსახურებაა აგრეთვე თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტზე 1933 წელს გეოფიზიკის კათედრის დაარსება. კათედრაზე მიმდინარეობდა სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები გეოფიზიკის მეცნიერების ყველა დარგში. არსებობის მანძილზე კათედრამ უზრუნველყო ამ დარგებში სახელმძღვანელოების გამოცემა ქართულ ენაზე. ბატონ მიხეილის გარდაცვალების შემდეგ კათედრაზე არსებობდა პროფ. მიხეილ ნოდის სახელობის კაბინეტი, რომელსაც პროფ. მ. ნოდის ოჯახმა უსახსოვრა მრავალი წიგნი. სამწუხაროდ, უნდა აღვნიშნოთ, რომ 2005-2010 წლებში კაბინეტი გაუქმდა და მრავალი ექსპონატი განადგურდა.

სასურველია ვიცოდეთ, რომ იდეა გეოფიზიკური ინსტიტუტის შექმნის შესახებ პროფ. მიხეილ ნოდის მიაწოდეს აკად. ნ. მარმა, აკად. ა. კრილოვმა და გ. პიჩიკიანმა. აგრეთვე ის, რომ, ნიშნად უღრმესი პატივისცემისა პროფ. მიხეილ ნოდის მიმართ, აკად. ნ. მარს გეოფიზიკური ინსტიტუტისათვის დაუთმია თავისი ოთხოთახიანი ბინა ზაკვედერაციის (ამჟამად დადიანის) ქუჩაზე, №24. ინფორმაცია მომაწოდა პროფ. მ. ნოდის შვილიშვილმა, არქიტექტორის პროფესორმა, ქალბატონმა მაია მანიამ, რისთვისაც უდიდეს მადლობას ვუხდით მას (ცნობისათვის: აკად. ნ. მარი (1864-1934) – ენათმეცნიერი, ორიენტალისტი, არქეოლოგი, კულტურის ისტორიკოსი, რუსეთის აკადემიის ნამდვილი წევრი, 1930 წლიდან სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ვიცე-პრეზიდენტი, იაფეტური ინსტიტუტის დამაარსებელი და დირექტორი პეტროგრადში (1921 წ.); აკად. ა. კრილოვი (1863-1916) – გემთმშენებელი, მექანიკოსი და მათემატიკოსი, აქვს შრომები მაგნიტური და ჰიდროსკოპიული კომპასების შესახებ).

გეოფიზიკური ინსტიტუტის დაარსებას ეხება აგრეთვე პროფ. ალ. ბუხნიკაშვილის ქ. ლენინგრადში სსრკ მეცნიერებათა აკადემიაში შესრულებული ხელნაწერი, რომელშიც ყურადღება გამახვილებულია ქვეყნის ბუნებრივი რესურსების, განსაკუთრებით, სასარგებლო ნამარხთა გეოფიზიკური კვლევების მეთოდებზე. ავტორი აღნიშნავს, რომ გეოფიზიკური მეთოდებით უკვე მიღებულია შესანიშნავი შედეგები. მაგალითად, გრავიმეტრიული და სეისმოსაძიებო მეთოდებით გამოვლენილია ნავთობის საბადოები. ამიერკავკასიაში ეს მეთოდები ნაკლებად იყო გამოყენებული. გეოფიზიკური მეთოდების შესაძლო გამოყენების საკითხი ამიერკავკასიის კონკრეტულ პირობებში წარმოადგენს დასაარსებელი გეოფიზიკური ინსტიტუტის მიზანდასახულობას. სწორედ ინსტიტუტმა უნდა დასახოს თავის ძირითად ამოცანად მიწის გეოფიზიკური მეთოდების დამუშავება ამიერკავკასიის პირობებში, როგორცაა: ელექტრომეტრიული მეთოდები სულფიდური საბადოების გამოსავლენად, მაგნიტომეტრიული – მაგნეტიდის, ასევე მინერალური წყარო-

ების გამოსავლენად, სეისმოსადიებო მეთოდები – გეოლოგიური პირობების შესასწავლად და სხვ. ბოლოს პროფ. ალ. ბუხნიკაშვილი აღნიშნავს პროფ. პ. ნიკოფოროვის დიდ ღვაწლს გეოფიზიკური ინსტიტუტის დაარსების საქმეში.

1933 წლის 22 სექტემბერს ჩატარდა საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის ამიერკავკასიის ფილიალის პრეზიდიუმის სხდომა. სხდომას ესწრებოდნენ: აკად. ნ. მარი (თავმჯდომარე), აკად. ი. მემჩანინოვი, პროფ. ნ. ბუში, პროფ. ვ. ზელენკო, ამხ. ე. გრუზდევი (მდივანი), ამხ. კ. ორაგველიძე (საქართველოს ცკ), ამხ. ე. ბედია (განათლების სახალხო კომისარი), ამხ. ლლონტი (საქართველოს მუზეუმი), ამხ. ს. პირუმოვი („ზაკ. გოსპლან“), ამხ. ა. გეგენავა („ზაკ. გოსპლან“), ამხ. ლ. აღნიაშვილი (სახ. უნივერსიტეტის რექტორი), ამხ. კაკაბაძე (გამოყენებითი მინერალოგიის ინ-ის დირექტორი), ამხ. ზ. ბრომინერი (მარქსიზმ-ლენინიზმის ინ-ის დირექტორი), ამხ. ჭკუასელი (მეცნიერების სექტორის გამგე), ამხ. კვიციანიძე (სახ. უნივერსიტეტი), პროფ. ნ. მუსხელიშვილი, პროფ. ა. ჯანელიძე, პროფ. ა. თვალჭრელიძე, პროფ. ი. ბერიტაშვილი, პროფ. დ. სოსნოვსკი, ამხ. გ. პიჩიკიანი, მეცნიერი თანამშრომლები: ამხანაგები: ფ. პეტროვა, მიქაძე, ე. კლოპოტოვსკი, აბულაძე, ი. ვეკუა, ა. ცხაკაია.

აკად. ნ. მარმა (თავმჯდომარე) სხდომის წევრებს ქართულ და რუსულ ენებზე მიულოცა სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ამიერკავკასიის ფილიალის საქართველოს განყოფილების შექმნა და გააცნო მათ სათანადო დადგენილება. შემდეგ მდივანმა ე. გრუზდევმა ისაუბრა იმ საორგანიზაციო საკითხებზე, რომლებიც ხელს შეუწყობდა გეოფიზიკური ინსტიტუტის მშენებლობას, პირველ რიგში ეს იყო საქართველოს ბუნებრივი რესურსების შესწავლა გეოფიზიკური გამოკვლევებით. მეცნიერებათა აკადემიას მიაჩნდა, რომ გეოფიზიკურ სამუშაოებს უხელმძღვანელებდა პროფ. პ. ნიკოფოროვი, თეორიულ გეოფიზიკას – პროფ. ნ. მუსხელიშვილი, რომელსაც დახმარებას გაუწევდნენ ახალგაზრდა მეცნიერები ი. ვეკუა და ა.რუხაძე. ამ დარგში არსებობდა ყველა მონაცემი, რათა დაწყებულიყო თეორიული კვლევები უმოკლეს ხანში. ექსპერიმენტულ გეოფიზიკას კი უხელმძღვანელებდა პროფ. მ. ნოდია. სეისმურ სამსახურზე ხელმძღვანელობა დაევალა პროფ. ე. ბიუსს. მნიშვნელოვან სამსახურს გაუწევდა აკადემიას ახალგაზრდა მეცნიერი-ენტოუზიასტი ა. ცხაკაია. გეოფიზიკის დარგში მუშაობა წარიმართებოდა სამი მიმართულებით: თბილისის ტელესეისმურ (ცენტრალურ) სადგურში – დამუშავდებოდა საქართველოს მთელი სამსახურის დანაკვირვები მასალა. ახალი სეისმური სადგურების (გარდა არსებული გორის, ონის და დუშეთის) მშენებლობა მოგვემდგა საშუალებას გადაწყვეტილიყო საქართველოს სეისმური დარაიონების საკითხი. ექსპერიმენტული გეოფიზიკის დარგში გაიხსნებოდა ელექტრომეტრიული, სეისმომეტრიული და გრავიმეტრიული ლაბორატორიები. ხელსაწყო-დანადგარები კი შეიძლება შექმნილიყო მეცნიერებათა აკადემიაში.

ინსტიტუტის დაარსებასა და მრავალი ახალი დარგის დანერგვა-განვითარებას ესაჭიროებოდა სათანადო კადრების მომზადება. 1931 წლის ბოლოს, პროფ. პ. ნიკოფოროვისა და პროფ. მ. ნოდის ინიციატივით ქ. ლენინგრადის სეისმოლოგიურ ინსტიტუტში შეიქმნა დაჩქარებული ასპირანტურა, სადაც საძიებო გეოფიზიკის დარგში კადრების მოსამზადებლად ობსერვატორიამ მიავლინა ახალგაზრდა მეცნიერები: გ. თვალთვაძე, ბ. ბალავაძე და ვ. ქებულაძე. ამ ჯგუფს შემდეგ შეუერთნენ ამიერკავკასიის სამთო მეტალურგიის ინსტიტუტის თანამშრომლები ალ. ბუხნიკაშვილი და მ. აბაკელია; სვერდლოვის სამთო ინსტიტუტის თანამშრომელი შ. ოქროპირიძე, ხოლო ობსერვატორიის სეისმოლოგიური განყოფილების

ფილების ფიზიკოსი ალ. ცხაკაია ერთი წლით ადრე იყო მივლინებული სასპირანტურო კურსის გასავლელად სეისმოლოგიაში. ასპირანტების ხელმძღვანელობა დაევალათ გამოჩენილ გეოფიზიკოსებს: პროფ. პ. ნიკიფოროვს, პროფ. ა. პეტრობსკის, პროფ. მ. სადოვსკის, პროფ. ე. კორიდალინს, პროფ. დ. კირნოსს, პროფ. დ. ხარინს და სხვებს. ბ. ბალავაძემ, ალ. ბუხნიკაშვილმა, ვ. ქებულაძემ, გ. თვალთვაძემ მნიშვნელოვანი როლი შეასრულეს გეოფიზიკური ინსტიტუტის ორგანიზებაში, ასპირანტურის დამთავრების შემდეგ სათავეში ჩაუდგინენ ინსტიტუტის სამეცნიერო-კვლევით მუშაობას სხვადასხვა დარგში, ისინი წარმოადგენდნენ ინსტიტუტის წამყვან მეცნიერთა ძირითად ბირთვს. ინსტიტუტისათვის სამეცნიერო კადრების მომზადების საქმეში და პირველი თეორიული ხასიათის გამოკვლევების ჩატარებაში დიდი როლი შეასრულეს აკადემიკოსებმა ვ. კუპრაძემ და ი. ვეკუამ.

1933 წლის 11 ნოემბერს რუსულენოვან გაზეთში „ტიფლისკი რაზოჩი“ (№259) გამოქვეყნდა საქართველოს ცენტრალური აღმასრულებელი კომიტეტის (ЦИК) და სახალხო კომისართა საბჭოს (СНК) შემდეგი დადგენილება სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ამიერკავკასიის ფილიალის საქართველოს განყოფილების ორგანიზების შესახებ: «В целях решения научно-исследовательских работ в области изучения естественных производительных сил ССР Грузии, Всегрузинский исполнительный комитет и Совет народных комиссаров ССР Грузии, в соответствии с решением президиума Академии наук Союза ССР, постановляет: 1. Организовать грузинское отделение закавказского филиала Академии наук Союза ССР 2. Передать в ведение грузинского отделения закавказского филиала Академии наук Союза ССР следующие научные учреждения; а) Тифлисский ботанический сад. б) Почвенную лабораторию сельскохозяйственного института ССР Грузии. в) Тифлискую сейсмическую станцию геофизической обсерватории. Означенные научные учреждения передаются со всеми кредитами, имуществом, оборудованием, инвентарем, помещениями и кадрами. 3. Предложить груз. отделению закавказского филиала Академии наук СССР развернуть работу в 1933 и 1934 г.г., в следующих областях научной деятельности: геологии, геофизики, биологии, почвоведению и химии, организовав соответствующие ИНСТИТУТЫ, лаборатории и сектора».

Председатель Всегрузинского центрального исполнительного комитета Ф. Махарадзе.

Председатель Совета народных комиссаров ССР Грузии Г. Мгалоблишвили.

Секретарь Всегрузинского Центрального исполн. Комитета Т. Жгенти.

1933 г. Ноябрь 5.

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

ინსტიტუტის თეორიული გეოფიზიკის განყოფილებას დაევალა სათანადო კადრების შერჩევა, გამოსაქვეყნებლად დაწყებული სამეცნიერო ნაშრომების მომზადება და განყოფილებაში სამუშაოდ მეცნიერი სპეციალისტის ი. ვეკუას მოწვევა. ექსპერიმენტულ განყოფი-

ლებას (პროფ. მ. ნოდია) დაევალა ჩამოეყალიბებინა განყოფილებაში სათანადო ლაბორატორიები და დაეგემა სამუშაოები 1934 წლის საექსპედიციო პერიოდისათვის. განყოფილების მაგნიმეტრიულ ლაბორატორიას ხელმძღვანელობდა პროფ. მ. ნოდია, სეისმომეტრიულს – გ. თვალთვაძე, გრავიმეტრიულს – ბ. ბალავაძე, ელექტრომეტრიულს – ალ. ბუხნიკაშვილი, შემდეგ ვ. ქეზულაძე).

1933 წლის 26 ოქტომბრის სხდომამ დაამტკიცა პროფ. პ. ნიკიფოროვის მიერ წარმოდგენილი გეოფიზიკური ინსტიტუტის პროფილი, პერსპექტიული გეგმა და 1934 წლის სამუშაო გეგმა. ინსტიტუტის ხარჯთაღრიცხვა შეადგენდა 635,505 მანეთს, მათ შორის ხელფასის ფონდი – 126,520 მანეთს).

1933 წლის 29 ნოემბერს აკად. ვ. კომაროვის თავმჯდომარეობით ჩატარდა სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ბაზების მიხედვით კომისიების (КПБ) სხდომა. სხდომას ესწრებოდნენ აგრეთვე ასპირანტები: ბ. ბალავაძე, ალ. ბუხნიკაშვილი, გ. თვალთვაძე და ვ. ქეზულაძე. სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ამიერკავკასიის ფილიალის მდივანმა ლ. გრუზდევ-რადინმა გააკეთა ინფორმაცია ფილიალის მუშაობის შესახებ. მან აღნიშნა, რომ ჩატარდა ამიერკავკასიის ფილიალის სტრუქტურის რეორგანიზაცია, რომ ფილიალის სამეცნიერო-ოპერატიული მუშაობა მიჰყავდა მის ორ განყოფილებას: საქართველოს და აზერბაიჯანის განყოფილებებს. თვით ფილიალი ასრულებდა ამიერკავკასიაში მეცნიერების დაგეგმვის და კოორდინირების ფუნქციას. ამიერკავკასიის ფილიალის შემადგენლობაში შეიქმნა რამდენიმე ინსტიტუტი, მათ შორის საქართველოს გეოფიზიკური ინსტიტუტი პროფ. პ. ნიკიფოროვის ხელმძღვანელობით. 1933 წლის 15 დეკემბერს სსრკ მეცნიერების პრეზიდიუმის სხდომაზე დაადგინეს, რომ გეოფიზიკური ინსტიტუტის დირექტორად დამტკიცდა პროფ. პ. ნიკიფოროვი, ხოლო მოადგილეების თანამდებობაზე – პროფ. ნ. მუსხელიშვილი და პროფ. მ. ნოდია, სწავლულ მდივანად – ალ. ცხაკაია.

საბოლოოდ, ეს დადგენილება მოისმინეს სსრკ მეცნიერებათა აკადემიაში 1933 წლის 28 დეკემბერს.

გეოფიზიკური ინსტიტუტის ამოცანები იმთავითვე განისაზღვრებოდა სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის გაშლით დედამიწის ფიზიკის დარგში, რაც მიზნად ისახავდა სახალხო მეურნეობის მინერალურ-ნედლეული ბაზის გაფართოებას და რესპუბლიკის ტერიტორიის სეისმური პირობების შესწავლას. ამასთან დაკავშირებით, პროფ. პ. ნიკიფოროვის ხელმძღვანელობით ჩატარდა ტრანსკავკასიის სეისმოლოგიური ექსპედიცია მიწისძვრების კერების გამოსავლენად; გაიხსნა ახალი სეისმური სადგურები, 1935 წლიდან რეგულარულად გამოდიოდა კვარტალური სეისმური ბიულეტენი. ელექტრომეტრიულ ლაბორატორიაში მიმდინარეობდა კვლევები ელექტრომეტრიული მეთოდების დასამუშავებლად და პროფ. ა. პეტროვსკის ხელმძღვანელობით ამიერკავკასიის მადნეულ და არამადნეულ საბადოებზე (რარი, წიფლარისხევი, ზესხი, კვასის და სხვ.) მნიშვნელოვანი საველე და ექსპერიმენტული სამუშაოები ჩატარდა. ოცდაათიან წლებში ასევე სსრკ აკადემიის სეისმოლოგიურ ინსტიტუტთან (ი. ბულანჟე, ნ. პარიისკი) საქართველოს ტერიტორიაზე ჩატარდა სიმძიმის ძალის განსაზღვრა. 1934-1935 წლებში, პირველად საქართველოში, ჭიათურის მარგანეცის საბადოზე ჩატარდა სეისმოსადიებო სამუშაოები, დამუშავდა ძიების სეისმური მეთოდის თეორია (გ. თვალთვაძე).

ინსტიტუტში ყველაზე ხანგრძლივი ტრადიციები აქვს გეომაგნიტურ კვლევებს და აქ ფასდაუდებელი წვლილი ეკუთვნის ბატონ მიხეილ ნოდიას, დიდ მეცნიერსა და პედა-

გოგს, ქართული გეოფიზიკის კლასიკოსს. კავკასიის მაგნიტური ველი იყო პირველი გეოფიზიკური ველი, რომელიც საკმაოდ დეტალურად აიგო 30-იან წლებში ბატონ მ. ნოდის აქტიური მონაწილეობით. მასვე ეკუთვნის კავკასიის მაგნიტური ველის გეოლოგ-გეოფიზიკური ინტერპრეტაციის პირველი მაგალითი კავკასიის ღრმა სტრუქტურის დადგენისა გეოფიზიკურ მასალაზე დაყრდნობით. მ. ნოდამ, პირველმა ინსტიტუტში, დაიცვა სადოქტორო დისერტაცია ფიზ.-მათ. მეცნიერებათა დოქტორის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად (თემა: „კავკასიის ველის მაგნიტური ველი“, 1937 წ., თსუ). ასევე წარმატებით დაიცვეს დისერტაციები დაჩქარებული ასპირანტურის კურსდამთავრებულებმა: ალ. ბუხნიკაშვილმა (1936 წ.), გ. თვალთვაძემ (1936 წ.), ბ. ბალავაძემ (1937წ.), ვ. ქებულაძემ (1939წ.). 1936 წლიდან დაიწყო წიგნის – „ინსტიტუტის შრომების“ გამოცემა. პირველი ტომი გამოიცა 1936 წელს. პროფ. პ. ნიკიფოროვი (1932 წლიდან სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტი) თვლიდა, რომ გეოფიზიკურმა ინსტიტუტმა პირველივე წლებიდან გამოავლინა ის შესაძლებლობები, რომლებსაც შეუძლიათ განავითარონ მოღვაწეობა გეოფიზიკური მეცნიერების ყველა დარგში. ვინაიდან პროფ. პ. ნიკიფოროვი ხელმძღვანელობდა მის მიერ დაარსებულ სეისმოლოგიურ ინსტიტუტს ქ. ლენინგრადში, ის სათანადო ყურადღებას ვერ უთმობდა გეოფიზიკურ ინსტიტუტს, ამიტომ პროფ. პ. ნიკიფოროვი ამ თანამდებობაზე 1938 წელს შეცვალა პროფ. მ. ნოდამ. რესპუბლიკის სახალხო მეურნეობისა და მეცნიერების ინტერესების მოთხოვნილებებიდან გამომდინარე, ინსტიტუტის ორგანიზაციული სტრუქტურაც იცვლებოდა. 1939 წელს ინსტიტუტის თეორიული განყოფილება შეუერთდა ახლადდაარსებულ მათემატიკურ ინსტიტუტს. 1939 წელს ინსტიტუტში აკად. კ. ზავრიევის ხელმძღვანელობით დაარსდა ანტისეისმური მშენებლობის რესპუბლიკური ბიურო, რომელიც 1941 წლიდან გამოეყო ინსტიტუტს და სამშენებლო საქმის ინსტიტუტის ერთ-ერთ ძირითად სტრუქტურულ ერთეულად გადაიქცა.

1936 წლიდან გაიხსნა ატმოსფეროს ფიზიკის განყოფილება, რომელმაც სწრაფად განავითარა მავნე მეტეოროლოგიურ მოვლენებზე ხელოვნური ზემოქმედების მეთოდების დამუშავება. დიდი ყურადღება ეთმობოდა კლიმატოლოგიის საკითხებს, ამიერკავკასიისა და საქართველოს ტერიტორიის სინოპტიკურ-მეტეოროლოგიური პირობების კვლევას და ამასთან ერთად კეთდებოდა ამიერკავკასიის კლიმატური პირობების გენეზისის ანალიზი (ი. ქურდიანი, ა. ბალაბუევი, პ. რომანოვსკი). 1941 წელს ა. ბალაბუევმა დაიცვა სადოქტორო დისერტაცია თემაზე: „ამიერკავკასიის კლიმატის გენეზისი“. 1936 წლიდან სწავლული მდივნის მოვალეობას ალ. ბუხნიკაშვილი ასრულებდა, ხოლო ბ. ბალავაძე – 1937-1938 წლებში. 1939 წლის 1 იანვრიდან სწავლული მდივნის თანამდებობაზე მოწვეული იქნა უმაღლესი კვალიფიკაციის მეტეოროლოგი, ლენინგრადის გეოფიზიკური ობსერვატორიის (ГГО) ყოფილი ასპირანტი, თბილისის სასოფლო-სამეურნეო ინსტიტუტის მეცნიერი თანამშრომელი პიოტრ რომანოვსკი, რომელიც სწ. მდივნის თანამდებობას 1945 წლამდე ასრულებდა. ის პროფ. ა. ბალაბუევთან ერთად იკვლევდა საქართველოს ტერიტორიის სინოპტიკურ-მეტეოროლოგიურ პირობებს.

საქართველოს სსრ სახალხო კომისართა საბჭოს 1941 წლის 10 თებერვლის ბრძანების №183 საფუძველზე საქ. სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ჩამოყალიბებასთან დაკავშირებით გეოფიზიკის ინსტიტუტის ბაზაზე დაარსდა ფიზიკისა და გეოფიზიკის ინსტიტუტი. დირექტორად დაინიშნა პროფ. მ. ნოდია. 1943 წლის მაისიდან გაერთიანებული ინსტიტუტის დირექტორის მოვალეობას ასრულებდა დოცენტი (შემდგომ აკადემიკოსი) მ. მირიანაშვილი; დირექტორის მოადგილის თანამდებობას 1943-1950 წლებში ასრულებდა ბ. ბალავაძე.

1941-1945 წწ. სამამულო ომში მონაწილეობდა არაერთი ინსტიტუტის თანამშრომელი. ცნობილია, რომ ფრონტის ხაზზე დაიღუპა სეისმური სადგურის ახალგაზრდა თანამშრომელი პ. გეფერიძე. ინსტიტუტი მუდმივად აძლიერებდა სამუშაოებს, რომლებიც ამდღებდნენ ქვეყნის თავდაცვისუნარიანობას. მაგალითად, იხვეწებოდა ელექტრომეტრიული და გრავიმეტრიული ძიების მეთოდები ნავთობის, კობალტის მოსაპოვებლად; იკვლევდნენ მთის ქანების რადიოაქტივობას, დედამიწის სიღრმულ აგებულებას – სიღრმული სეისმური ზონდირების მეთოდით და სხვ. ამ სამუშაოებში ინსტიტუტს დიდ დახმარებას უწევდა სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის თეორიული გეოფიზიკის ინსტიტუტი.

სსრკ მინისტრთა საბჭოს და ცენტრალური კომიტეტის 1950 წლის, საქართველოს სსრ მინისტრთა საბჭოს და საქართველოს კ.პ.(ბ) ცკ 1950 წლის 8 დეკემბრის დადგენილების საფუძველზე ფიზიკისა და გეოფიზიკის ინსტიტუტი 1 დეკემბრიდან გაიყო ორ ინსტიტუტად: ფიზიკის ინსტიტუტად და გეოფიზიკის ინსტიტუტად. 1950 წელს ინსტიტუტის დირექტორად დაინიშნა ბ. ბალავაძე, ხოლო 1951 წელს ინსტიტუტის დირექტორის მოადგილედ ფიზ.-მათ. მეცნ. კანდიდატი გ. სულაქველიძე, რომლის ინიციატივით ინსტიტუტში 1946-47 წლებში დაიწყო თოვლის საფარის სიმკვრივის, ტემპერატურული გრადიენტის, რადიაციული, მექანიკური და სხვა ფიზიკური თვისებების შესწავლა. არსებული სეისმოლოგიის და ატმოსფეროს ფიზიკის გარდა, 1950 წლებიდან ინსტიტუტში ფუნქციონირებდა დედამიწის მაგნეტიზმის (ნ. კაციაშვილი), სეისმომეტრიის (გ. თვალთვაძე), გრავიმეტრიის (ბ. ბალავაძე), გეოელექტრობის (ვ. ქებულაძე), რადიომეტრიის (შ. ჩხენკელი) განყოფილებები.

1953 წელს, ბ. ბალავაძის დოქტორანტურაში სწავლის მიზნით, ქ. მოსკოვში გამგზავრებასთან დაკავშირებით, ინსტიტუტის დირექტორად დაინიშნა პროფ. ალ. ბუხნიკაშვილი, რომელიც ინსტიტუტს ხელმძღვანელობდა 1972 წლამდე. ინსტიტუტის დირექტორის მოადგილის თანამდებობას სამეცნიერო ნაწილში 1953-1963 წწ. ასრულებდა მეცნ. კანდიდატი ვ. ქებულაძე, ხოლო სწავლული მდივნის 1956-1963 წწ. – მეცნ. კანდიდატი ვ. პაპალაშვილი.

1956 წელს ინსტიტუტს გადმოეცა დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორია და თბილისის კოსმოსური სხივების სადგური (ვ. ქოიავა). 1957 წელს დაარსდა დუშეთის გეოფიზიკური ობსერვატორია, რომელიც მძლავრ ექსპერიმენტულ ბაზას წარმოადგენდა. ობსერვატორია და კოსმოსური სხივების სადგური 1957-59 წლებში მონაწილეობდნენ საერთაშორისო გეოფიზიკური წლის პროგრამით გათვალისწინებულ დაკვირვებებში. ორივე ბაზა თავისი აღჭურვილობით და დაკვირვებების დონით ითვლება მსოფლიო მნიშვნელობის ცენტრებად. 1964-65 წლებში ისინი მონაწილეობდნენ წყნარი ოკეანის საერთაშორისო წლის დაკვირვებებში.

დუშეთის გეოფიზიკური ობსერვატორია შედის გეომაგნიტური სადგურების მსოფლიო ქსელში, მიიღება უწყვეტი ინფორმაცია დედამიწის მაგნიტური ველის მდგომარეობის შესახებ; მოპოვებულია უწყვეტი ჩანაწერები 100 წელზე მეტი ხნის განმავლობაში. ობსერვატორიას სხვადასხვა წელს ხელმძღვანელობდნენ: მ. ნოდია, მ. ჭელიშვილი, ნ. ხვედელიძე, ა. ლაში, ვ. მაცაბერიძე, ამჟამად – რ. გოგუა. კოსმოფიზიკის ობსერვატორიაში (ვ. ქოიავა, მ. ალანია, ლ. შათაშვილი, ნ. დლონტი, ი. ტუსკია, თ. ბაქრაძე) ფუნქციონირებს ნეიტრონული სუპერმონიტორი; მიიღება კოსმოსური სხივების ინტენსივობის უწყვეტი სტაციონარული დაკვირვებები. ობსერვატორია ჩართულია, როგორც საყრდენი სადგური კოსმოსური სხივების სადგურთა მსოფლიო ქსელში. ობსერვატორიების მონაცემები განთავსებულია ასევე ინტერნეტში.

ინსტიტუტი განუწყვეტლივ აფართოებდა და აღრმავებდა სამეცნიერო-კვლევით სამუშაოებს საკავშირო და საერთაშორისო პრობლემატიკის ხაზით, რომლებიც ეხებოდა გეოფიზიკური ველების, დედამიწის ქერქის სიღრმული აგებულების, თანამედროვე მოძრაობების და დეფორმაციების შესწავლას, მიწისძვრების კერების ფიზიკას, სეისმურობასა და სეისმოდარაიონებას, მიწისძვრების სეისმოლოგიური, გეოფიზიკური, რადიომეტრიული და გეოდინამიკური წინამორბედების გამოვლინებას, სეისმური საშიშროების ხარისხის შეფასების კომპლექსური მეთოდების დამუშავებასა და დანერგვას; სასარგებლო ნამარხების და საინჟინრო ობიექტების გეოფიზიკური მეთოდებით შესწავლას; სეტყვისა და ელჭექის პროცესებზე აქტიური ხელოვნური ზემოქმედების მეთოდების დამუშავებასა და დანერგვას; დედამიწის ახლო კოსმოსური სივრცის შესწავლას, დედამიწის იონოსფეროსა და მაგნიტოსფეროში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების დადგენას. განავითარა რა სამეცნიერო სამუშაოები აღნიშნული მიმართულებებით, ინსტიტუტი ჩაატარა მოწინავე გეოფიზიკური დარგის ინსტიტუტების რიგებში.

1957 წელს ინსტიტუტში შეიქმნა ალაზნის სეტყვასთან ბრძოლის ბაზა სოფელ რუის-პირში სტაციონარული ექსპედიციის სახით, ხოლო 1961 წელს საქართველოს სოფლის მეურნეობის სამინისტროსთან – სეტყვასთან ბრძოლის სამსახური (ხელმძღვანელი ა. ქარცივაძე). მეცნიერულმა გამოკვლევებმა და პრაქტიკულმა სამუშაოებმა ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედების მეთოდებისა და ტექნიკურ საშუალებათა შესაქმნელად აღიარება მოიპოვა საზღვარგარეთის ქვეყნებშიც. ამ პერიოდში ინსტიტუტის სტრუქტურა შეიცვალა, დაარსდა შემდეგი განყოფილებები: დედამიწის მაგნეტიზმის (ნ. კაციაშვილი, გ. ბერიშვილი), მიწისძვრების ფიზიკის (ევგ. ბიუსი, დ. სიხარულიძე), რადიომეტრიის (შ. ჩხენკელი), ქანების ფიზიკის (ლ. ჭანტურიშვილი, თ. ჭელიძე), ღრუბლების ფიზიკის და აქტიური ზემოქმედების (ა. ქარცივაძე). 1963 წლიდან 1990 წლამდე ინსტიტუტში ფუნქციონირებდა სეისმურ დაკვირვებათა ერთიანი ქსელის კავკასიის ზონალური ცენტრი (ალ. ცხაკაია, ვ. პაპალაშვილი), რომელიც კოორდინაციას უწევდა კავკასიაში მომხდარ მიწისძვრებს, „კავკასიის სეისმოლოგიური ბიულეტენის“ გამოცემას.

1964 წელს ამოქმედდა ინსტიტუტის მთაწმინდის დედამიწის მიმოქცევების შემსწავლელი მიწისქვეშა ლაბორატორია (შემდეგ დედამიწის მიმოქცევების ობსერვატორია „თბილისი“). ობსერვატორია წარმოადგენდა სოციალისტური ქვეყნების საერთაშორისო ცენტრს დახრისმზომითი დაკვირვებების უნიფიცირების ხაზით (ბ. ბალაშვილი, კ.ზ. ქართველიშვილი). სამწუხაროდ, 2011 წელს ობსერვატორიის შენობა და გვირაბი დაისაკუთრა თავდაცვის სამინისტრომ, რასაც წინ უსწრებდა ობიექტის რამდენიმე დარბევა.

იმავე წლებში ინსტიტუტში მწყობრში ჩაატარა ექსპერიმენტული კომპლექსი ატმოსფეროს ფიზიკაში – თერმობაროკამერა, რომელშიც ხორციელდება ატმოსფერული პროცესების მოდელირება. თავისი სიმძლავრით და შესაძლებლობებით ის ერთადერთია ყოფილ სსრკ ტერიტორიაზე (ა. ქარცივაძე, ა. ოკუჯავა).

1969 წელს სსრკ სახელმწიფო პრემია მეცნიერებასა და ტექნიკის დარგში მიენიჭა სამუშაოს „სეტყვის საწინააღმდეგო რაკეტებისა და ჭურვების გამოყენებით სეტყვასთან ბრძოლის მეთოდებისა და საშუალებების დამუშავება და დანერგვა“. სხვა მეცნიერებთან ერთად ლაურეატის წოდება მიიღეს ქართველმა მეცნიერებმა: ა. ბუხნიკაშვილმა, ა. ქარცივაძემ (გეოფიზიკის ინსტიტუტი), ნ. ბიბილაშვილმა, ი. კიზირიამ და გ. სულაქველიძემ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ის თანამშრომლები, რომლებიც ასრულებდნენ ამ სამუშაოებს,

დაჯილდოვდნენ სახელმწიფო ჯილდოებით და სსრკ სასოფლო-სამეურნეო გამოფენის ოქროს, ვერცხლის და ბრინჯაოს მედლებით.

1969 წლიდან ინსტიტუტში აკად. ბ. ბალავაძის ინიციატივით დაარსდა დედამიწის ქერქის ნელი მოძრაობების შემსწავლელი ლაბორატორია (შემდგომ განყოფილება, ვ. აბაშიძე), რომელსაც ევალებოდა მსხვილი საინჟინრო ნაგებობების მშენებლობათა რაიონებში (ენგურჰესის რაიონი, შემდგომ ენგურჰესის საერთაშორისო გეოფიზიკური პოლიგონი) დედამიწის ქერქის დეფორმაციების შესწავლა და ზუსტი გეოდინამიკური გაზომვების ჩატარება. 1990 წლიდან ენგურის ჰიდროელექტროსადგურის მაღლივი კაშხლის მშენებლობასთან დაკავშირებით, ობიექტის მახლობლობაში ტერიტორიის სეისმური რეჟიმის შესასწავლად გაიხსნა 11 სეისმური სადგური (გ. მურუსიძე). აღსანიშნავია, რომ რეგიონალური სეისმოლოგიის განყოფილების გამგის, ალ. ცხაკაიას დაჟინებული მოთხოვნით, ენგურჰესის მაღლივი კაშხლის მშენებლობა, როგორც უნიკალური ობიექტისა, განხორციელდა 9 ბალის გათვალისწინებით, ნაცვლად 8 ბალისა, რამაც ორჯერ გაამძვირა კაშხლის მშენებლობა.

საქართველოს რესპუბლიკის უმაღლესი საბჭოს პრეზიდიუმის 1970 წლის 1 სექტემბრის ბრძანებულებით, გეოფიზიკური მეცნიერების განვითარებაში მიღწეული წარმატებებისათვის, დაარსების 125 წლისთავთან დაკავშირებით, დუშეთის გეოფიზიკური ობსერვატორია, პროფ. მ. ნოდია, მეცნ. კანდიდატები: ნ. კაციაშვილი, ვ. ქებულაძე და ვ. მაცაბერიძე (ობსერვატორიის ხელმძღვანელი), ობსერვატორიის თანამშრომლები ე. ხახუტაშვილი, ც. შერმადინი და მ. ებრალიძე დაჯილდოვდნენ საქართველოს უმაღლესი საბჭოს პრეზიდიუმის საპატიო სიგელით.

1972-87 წლებში ინსტიტუტს ხელმძღვანელობდა აკად. ბ. ბალავაძე. მისი ინიციატივით ინსტიტუტში დაარსდა გამოთვლითი ცენტრი, რისთვისაც აკად. ნ. მუსხელიშვილის სახელობის გამოთვლითი ცენტრიდან მოიწვია პროფ. მ. ალექსიძე თავისი განყოფილებით. ამან განაპირობა ინსტიტუტის მეცნიერული კვლევების უფრო მაღალ დონეზე აყვანა. ინსტიტუტში ფართოდ დაინერგა გამოყენებითი მათემატიკის მეთოდები გეოფიზიკაში, შეიქმნა საძიებო სისტემები და გეოფიზიკური ველების მონაცემთა ბაზები. ინსტიტუტში პროფ. მ. ალექსიძე (1988 წლიდან აკადემიკოსი) ხელმძღვანელობდა გამოთვლით ცენტრს და ერთდროულად ეკავა დირექტორის მოადგილის თანამდებობა სამეცნიერო ნაწილში. 1987 წელს დემოკრატიული არჩევნების შედეგად მან 1987 წ. დაიკავა ინსტიტუტის დირექტორის თანამდებობა. 1992 წელს საკუთარი სურვილით დატოვა დირექტორის თანამდებობა. აკად. მ. ალექსიძე ტრაგიკულად დაიღუპა 1993 წელს. მან წარუშლელი კვალი დატოვა გეოფიზიკური მეცნიერების განვითარებაში. აკად. მ. ალექსიძის მეცნიერული მიღწევები დაკავშირებულია გრავიმეტრიის, სეისმოლოგიის და გეოთერმის პირდაპირი და შებრუნებული ამოცანების ამოხსნის ალგორითმიზაციასთან, შებრუნებული ამოცანების მდგრადობის საზღვრების დადგენასთან.

1974 წლიდან შეიცვალა ინსტიტუტის სტრუქტურა. ფუნქციონირებდა 4 სექტორში გაერთიანებული სეისმოლოგიისა და გრავიმეტრიის, გეომაგნეტიზმისა და გეოელექტრომეტრიის, ატმოსფეროს ფიზიკის, კოსმოფიზიკის განყოფილებები, 12 ლაბორატორია და გამოთვლითი ცენტრი. ინსტიტუტში იყო 387 თანამშრომელია, მათ შორის 158 სამეცნიერო პერსონალი (4 მეცნ. დოქტორი და 46 კანდიდატი). დირექტორის მოადგილეების თანამდებობა ეკავათ: პროფ. მ. ალექსიძეს და მეცნ. კანდ. გ. ხოჭოლავას – სამეცნიერო ნაწილში;

მეცნ. კანდ. ი. აივაზიშვილს – სამეცნიერო-ტექნიკურ ნაწილში, ხოლო პ. გრიგოლავას – სამეურნეო ნაწილში. სწავლული მდივნის თანამდებობა 1970-1976 წწ. ეკავა ვ. ჭიჭინაძეს, 1976-1978 წწ. – პ. მანჯგალაძეს, 1979-2005 წწ. – ლ. დარახველიძეს (უნდა აღინიშნოს, რომ ინსტიტუტის სტრუქტურა წლების განმავლობაში მუდმივად იცვლებოდა).

1976 წლიდან ქ. თბილისის გარეუბანში, ნუცუბიძის ქ. №77 ექსპლოატაციაში შევიდა ახალი სეისმური სადგური – სეისმოლოგიური ობსერვატორია „თბილისი“ (ხელმძღვანელი მეცნ. კანდ. ა. ახალბედაშვილი). ძველმა ცენტრალურმა სეისმურმა სადგურმა (დავით აღმაშენებლის 150) 1978 წლის 1 იანვარს შეწყვიტა ფუნქციონირება. იქ ახლა ჰიდრომეტეოროლოგიური ინსტიტუტის მუზეუმაა. აღვნიშნავთ, რომ, მიუხედავად სხვადასხვა სახის სიძნელეებისა, სეისმურ სადგურში ყოველთვის მიმდინარეობდა უწყვეტი სეისმური დაკვირვებები. ობსერვატორიაში დაგროვილია უნიკალური, საუკუნეზე მეტი ხნის სეისმოლოგიური მასალა. სეისმოლოგიური ობსერვატორია „თბილისი“ გახდა ძირითად ექსპერიმენტულ ბაზად ინსტრუმენტული სეისმური დაკვირვებების ავტომატიზაციის დასადგენად, მიწისძვრების რეგისტრაციის ახალი მეთოდების დასამუშავებლად, ახალი აპარატურის დასამზადებლად და სხვ. აღნიშნული საკითხების დამუშავებაში, ობსერვატორიის ახალი შენობის მშენებლობის საქმეში დიდი წვლილი მიუძღვის რეგიონული სეისმოლოგიის განყოფილების ხელმძღვანელს, მეცნ. დოქტორ ოთარ გოცაძეს. ობსერვატორიას დამსახურებულად მიენიჭა მისი სახელი.

1978 წლიდან ინსტიტუტი ფუნქციონირებს ახალ 12-სართულიან შენობაში. ამავე წლიდან ინსტიტუტში მოქმედებს სპეციალიზებული, სამეცნიერო ხარისხების მიმნიჭებელი დაცვის საბჭო. 1979-94 წწ. ინსტიტუტში შეიქმნა სარედაქციო-საექსპერტო კომისია (თავმჯდომარეები: თ. ჭელიძე, ო. გოცაძე, კ.მ. ქართველიშვილი, ვ. ჭიჭინაძე, მდივანი მ. ნიკოლაიშვილი).

აკად. ბ. ბალავაძის თაოსნობით თბილისის ფიზიკური ობსერვატორიის ძველ შენობაში 1978 წლიდან გაიხსნა საქართველოს გეოფიზიკის ისტორიის მუზეუმი (თ. ბროლიძე).

1979 წელს, ძლიერი მიწისძვრების პროგნოზის პრობლემებზე სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების გაძლიერების მიზნით, დირექტიული ორგანოების დადგენილებების შესასრულებლად ინსტიტუტთან დამოუკიდებელ ბალანსზე ჩამოყალიბდა საცდელ-მეთოდური სეისმოლოგიური პარტია (რ. მახარაძე, გ. შენგელაია), რომლის ბაზაზეც 1982 წელს შეიქმნა საცდელ-მეთოდური გეოფიზიკური ექსპედიცია (სმგე), შემდეგ ერთიანი სეისმური დაცვის ეროვნული სამსახური (გ. შენგელაია), რომელიც „სეისმური მონიტორინგის ცენტრის“ (ზ. ჯავახიშვილი) სახელწოდებით 2006 წელს გამოეყო ინსტიტუტს. შედეგად, გეოფიზიკის ინსტიტუტმა დაკარგა სეისმოლოგიური ობსერვატორია, საქართველოს სეისმურ სადგურთა ქსელი. ამჟამად, სეისმური მონიტორინგის ცენტრი ილიას უნივერსიტეტის დაქვემდებარებაშია და გეოფიზიკის ინსტიტუტი მოკლებულია შესაძლებლობას გაეცნოს დანაკვირვებ მასალას მომხდარი მიწისძვრების შესახებ.

1983 წელს, გეოფიზიკის ინსტიტუტის დაარსებიდან 50 წლისთავთან დაკავშირებით, აკად. ბ. ბალავაძის რედაქტორობით გამომცემლობა „მეცნიერებამ“ გამოსცა კრებული „გეოფიზიკის ინსტიტუტი-50“ (რუსულ ენაზე). გეოფიზიკის ინსტიტუტი დაჯილდოვდა საქართველოს უმაღლესი საბჭოს პრეზიდიუმის საპატიო სიგელით (იხ. გაზეთი „კომუნისტი“, 1984 წლის 17 მაისი). საქართველოს უმაღლესი საბჭოს პრეზიდიუმის სიგელით დაჯილდოვდა ინსტიტუტის 22 თანამშრომელი: ბ. ბალავაძე, გ. ხოჭოლავა, ი. აივაზიშ-

ვილი, პ. გრიგოლავა, მ. ალანია, ვ. აბაშიძე, ო. გოცაძე, მ. იოსელიანი, გ. მურუსიძე, ა. ოკუ-
ჯავა, დ. სიხარულიძე, კ.მ. ქართველიშვილი, ა. ქარცივაძე, გ. შენგელაია, თ. ჭელიძე, ა. ხან-
თაძე, ვ. პაპალაშვილი, ა. ლაშხი, ტ. ლებედევა, პ. ყალიჩავა, ვ. ჭიჭინაძე, ს. გულოვი. საინ-
ჟინრო გეოფიზიკის განყოფილების გამგემ, გეოლ.-მინ. მეცნ. კანდიდატმა დ. ციციშვილმა
მიიღო „საქართველოს დამსახურებული გეოლოგის“ საპატიო წოდება. 1985 წლის 6-7
ივნისს ჩატარდა ინსტიტუტის საიუბილეო – სამეცნიერო სესია. სხდომა გახსნა საქართვე-
ლოს მეცნიერებათა აკადემიის ვიცე-პრეზიდენტმა, აკად. გ. ჯიბლაძემ. მოხსენება ინსტი-
ტუტის მოღვაწეობის შესახებ გააკეთა აკად. ბ. ბალავაძემ. სხდომას ესწრებოდნენ: საქართ-
ველოს ცენტრალური კომიტეტის მეცნიერებისა და განათლების განყოფილების გამგე ა.
საყვარელიძე, მეცნიერებისა და ტექნიკის კომიტეტის თავმჯდომარე ლ. ოკლეი, აკად. ა.
ცაგარელი, რაიკომის მესამე მდივანი შ. დოლონაძე. გაზეთ „ზარია ვოსტოკა“-ში 1985 წლის
7 ივნისს გამოქვეყნდა აკად. ბ. ბალავაძისა და მეცნ. კანდ. ვ. ჭიჭინაძის საიუბილეო სტატია
„Расширяя фронт исследований“. მილოცვები გამოაგზავნეს: ე. ხარაძემ, აკად. მ. სადოვსკიმ,
პროფ.გ. გორშკოვმა, გ. ციციშვილმა, ე. კარუსმა, ვ. ბელოუსოვმა, დორმანმა, ასლანიანმა,
კურბანოვმა, ერჟანოვმა, ნეგმატულაევმა, ი. ბულანჟემ, მიგულინმა, ნ. პარიისკიმ და სხვ.
(მისალოცი ადრესები ბატონ ბენო ბალავაძის ნებართვით განთავსდა მუზეუმში, თ. ბრო-
ლიძის პასუხისმგებლობით).

1987 წლიდან აკად. ბ. ბალავაძეს ეკავა საპატიო დირექციის მრჩეველის თანამდებობა.

1989 წელს ინსტიტუტში დაარსდა „ზღვის დინამიკის“ განყოფილება (ხელმძღვანელი
მეცნ. დოქტ. ა. კორძაძე; წევრები: მეცნ. კანდიდატები: დ. დემეტრაშვილი, ა. სურმავა და
სხვ.). განყოფილებაში მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე შეისწავლება ზღვა-
ხმელეთი-ატმოსფეროს სისტემაში მიმდინარე ფიზიკური და ეკოლოგიური პროცესები.

საქართველოს რესპუბლიკის 1992 წლის 17 აპრილის დადგენილებით, 1992 წლიდან
გეოფიზიკის ინსტიტუტს მიეკუთვნა გამოჩენილი ქართველი მეცნიერის, საქართველოში
გეოფიზიკური მეცნიერების ფუძემდებლის, ფიზ.-მათ. მეცნ. დოქტორის, პროფესორ
მიხეილ ნოდუას სახელი.

1990 წლისათვის ინსტიტუტში ფუნქციონირებდა 9 განყოფილება და 20 ლაბორატო-
რია. ინსტიტუტში 623 თანამშრომელი იყო, მათ შორის 276 – საცდელ-მეთოდურ გეოფი-
ზიკურ ექსპედიციაში, 18 – მეცნიერებათა დოქტორი და 124 – მეცნიერებათა კანდიდატი.
1992-2006 წლებში ინსტიტუტის დირექტორის თანამდებობა ეკავა მეცნ. აკადემიის
წევრ/კორ., პროფ. თ. ჭელიძეს.

რამდენიმე წლის განმავლობაში ინსტიტუტში ფუნქციონირებდა ქალთა საბჭო (მ. ჭე-
ლიშვილი, ქ. ჩოჩიშვილი).

ოთხმოცდაათიანი წლების ცნობილი პოლიტიკური მოვლენების გამო კარდინალუ-
რად შეიცვალა ინსტიტუტის სამეცნიერო მოღვაწეობა და, ამასთან დაკავშირებით, თანამშ-
რომელთა მდგომარეობაც. პირველ რიგში გაუარესდა ეკონომიური მდგომარეობა: მკვეთ-
რად შემცირდა ხელფასები, შემცირდა შტატები, ინსტიტუტის შენობა არ თბებოდა, ინსტი-
ტუტს აღარ გააჩნდა საშუალებები საექსპედიციო სამუშაოებისა და მიმდინარე რემონტის
ჩასატარებლად, ინსტიტუტის ბიბლიოთეკა ვეღარ იძენდა წიგნებს, ახალგაზრდა პერსპექ-
ტიულმა კადრებმა დატოვეს ინსტიტუტი (მათ შორის 50-მდე მეცნიერებათა კანდიდატმა)
და სხვ. ამ მძიმე წლებში, ინსტიტუტის წამყვან მეცნიერებზე დაყრდნობით, დირექცია
ცდილობდა სამეცნიერო გამოკვლევების დონის შენარჩუნებას. პროფ. თ. ჭელიძის ინიცი-

ატივით 1995 წლიდან დაარსდა საქართველოს გეოფიზიკური საზოგადოების ინგლისურ-ენოვანი ჟურნალი (სერია ა „დედამიწის ფიზიკა“ და სერია ბ „ატმოსფეროს, ოკეანისა და კოსმოსური პლაზმის ფიზიკა“), რამაც თანამშრომლებს მისცა საშუალება უფასოდ გამოეჭქვეყნებინათ სამეცნიერო პროდუქცია, განახლდა ინსტიტუტის რუსულენოვანი შრომათა კრებულის გამოცემა. გარდა ამისა, ისევ პროფ. თ. ჭელიძის ინიციატივით დაწესდა პროფ. მ. ალექსიძის სახელობის პრემია, პრემია ახალგაზრდა მეცნიერ-თანამშრომლებისათვის და სტიპენდია თბილისის ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გეოფიზიკის კათედრის წარმატებული ასპირანტებისა და სტუდენტებისთვის. პროფ. თ. ჭელიძის პირადი კავშირების საშუალებებით ინსტიტუტის ბიბლიოთეკამ საჩუქრად მიიღო გეოფიზიკური ჟურნალები ამერიკიდან, გამოიძებნა თანხები თანამედროვე გეოფიზიკური აპარატურის და კომპიუტერების შესაძენად, ჩატარდა დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიის მოდერნიზაცია და სხვ. 1993 წელს დაარსდა საქართველოს გეოფიზიკური საზოგადოება (სგს) (პრეზიდენტი პროფ. თ. ჭელიძე, ვიცე-პრეზიდენტები პროფ. ლ. ჭანტურიშვილი და მეცნ. დოქტ. ნ. ბეგალიშვილი, გენერალური მდივანი მეცნ. კანდ. ლ. მირიანაშვილი).

მეცნიერებისა და ტექნიკის დარგში საქართველოს რესპუბლიკის 1994 წლის სახელმწიფო პრემია მიენიჭა ინსტიტუტში 1978-1992 წლებში შესრულებულ შრომათა ციკლს „გეოფიზიკური, გეოლოგიური და საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტის გრავიმეტრიული მეთოდების დამუშავება და რეალიზაცია“. ლაურეატები გახდნენ: აკად. ბ. ბალავაძე (ხელმძღვანელი), აკად. მ. ალექსიძე (თანახელმძღვანელი), მეცნ. დოქტორები: კ.მ. ქართველიშვილი და კ.ზ. ქართველიშვილი, მეცნ. კანდიდატი ვ. აბაშიძე და წევრ./კორ. გ. შენგელაია.

აკად. მ. ალექსიძის სახელობის პრემია მიიღეს: 1994წ. წ/კორ. გ. შენგელაიამ, მეცნ. კანდიდატებმა: გ. მანაგაძემ, ჯ. ჩიქოვანმა, ვ. ჭიჭინაძემ და ე. საყვარელიძემ; 1996 წ. – პროფ. ა. კორძაძემ; 1999 წ. – წ/კორ. თ. ჭელიძემ, 2000 წ. – მეცნ. დოქტ. პ. მინდელმა; 2002 წ. – პროფ. ვ. აბაშიძემ; 2004 წ. – პროფ. ზ. ხვედელიძემ; 2007 წ. – აკადემიურმა დოქტორებმა: ნ. ღლონტმა, ზ. დემეტრაშვილმა და ნ. ნაჭყებია, დ. ბოჩიკაშვილმა და ი. ტუსკიამ; 2010 წ. – მეცნ. დოქტ. გ. გუგუზაშვილმა და პროფ. ჯ. ქირიამ; 2018 წ. – აკადემიურმა დოქტ. რ. გოგუამ; 2021 წ. – მეცნ. დოქტ. ზ. კერესელიძემ.

ახალგაზრდული პრემია მიიღეს: 1994 წ. – მეცნ. კანდ. დ. ზილფიმიანმა; 1995 წ. – მეცნ. კანდ. ზ. ჯავახიშვილმა და უმცრ. მეცნ. თან. ნ. წერეთელმა; 1996 წ. – მეცნ. კანდ. ნ. ქართველიშვილმა; 1997 წ.-ლაზ. მ. ელაშვილმა; 1998 წ. – მეცნ. კანდ. ვ. ამირანაშვილმა; 2001 წ. – უმცრ. მეცნ. თან. თ. გოდოლაძემ; 2002 წ. – ინჟ. პროგრამისტმა მ. დევიძემ; 2003 წ. უმცრ. მეცნ. თან. მ. ოთინაშვილმა და მეცნ. კანდ. მ. ელიზბარაშვილმა; 2004 წ. ლაზ. – რ. დანელიამ; 2005 წ. – უმცრ. მეცნ. თან. თ. წამალაშვილმა, 2008 წ. – აკადემიურმა დოქტ. ხ. ჩარგაზიამ, 2018 წ. – აკადემიურმა დოქტ. ა. სბორშჩიკოვმა და მეცნ. თან. ე. მეფარიძემ.

1996 წლიდან ევროსაბჭომ საქართველოში დააფუძნა „მაღლივი კაშხლების გეოდინამიკური რისკის“ ცენტრი, რომლის მიზანია განავითაროს კომპლექსური მიდგომა გეოდინამიკურ რისკებზე, რომლებიც დაკავშირებულია დიდი კაშხლების მშენებლობასა და ექსპლუატაციასთან. ცენტრი მოწოდებულია საერთაშორისო მასშტაბით ხელმისაწვდომი გახადოს ენგურჰესზე მიღებული შედეგები ანალოგიური ობიექტებისათვის. ცენტრის დირექტორია პროფ. თ. ჭელიძე, მოადგილე იყო პროფ. ვ. აბაშიძე.

ცალკე აღნიშვნის ღირსია ენგურჰესის კაშხლის ტანის მონიტორინგის სტაციონარული სისტემა, რომელიც ფუნქციონირებს 1970-ანი წლებიდან. ბოლო წლებში განხორციელდა მისი თანამედროვე, მათ შორის გეოფიზიკის ინსტიტუტში დამზადებული დანადგარებით აღჭურვა. ინსტიტუტი ასევე მონაწილეობს გერმანელებთან ერთობლივ (DAMST) საერთაშორისო პროექტში, რომლის ფარგლებში მოეწყო ენგურჰესის კაშხლის და წყალსაცავის გეოდინამიკური მონიტორინგის ძვირადღირებული ქსელი.

2004 წელს გეოფიზიკის ინსტიტუტს ეწოდა საჯარო სამართლის იურიდიული პირი, მიხეილ ნოდისა გეოფიზიკის ინსტიტუტი, რომელიც დაექვემდებარა საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროს. 2006 წლის 3 ივნისიდან გეოფიზიკის ინსტიტუტის დირექტორად დაინიშნა ფიზ.-მათ. მეცნ. აკადემიური დოქტორი ნ. ლლონტი, ხოლო მოადგილედ სამეცნიერო დარგში ფიზ.-მათ მეცნ. აკადემიური დოქტორი, პროფ. ჯ. ქირია. სწავლული მდივნის თანამდებობა 2005-2006 წლებში ეკავა ფიზ.-მათ. მეცნ. აკადემიურ დოქტორს დ. კირკიტაძეს. 2006 წლიდან პროფ. თ. ჭელიძე ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს თავმჯდომარეა, ხოლო დ. კირკიტაძე – საბჭოს მდივანი. საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროს 2006 წლის 21 დეკემბრის „უმაღლესი განათლების შესახებ“ საქართველოს კანონის 89-ე მუხლის მე-9 პუნქტის შესაბამისად, ამ კანონის ძალაში შესვლამდე მოპოვებული კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხი გათანაბრებულია დოქტორის აკადემიურ ხარისხთან.

2006 წლიდან ინსტიტუტის სტრუქტურაში შემდეგი 7 სექტორია: 1. სეისმოლოგიისა და ექსპერიმენტული გეოფიზიკის (წ/კორ. თ. ჭელიძე), 2. გეოფიზიკური ველების დინამიკისა და გამოთვლითი გეოფიზიკის (მეცნ. დოქტ. თ. მაჭარაშვილი), 3. დედამიწის ფიზიკისა და გეომაგნეტიზმის (მეცნ. დოქტ. ვ. ქართველიშვილი), 4. გამოყენებითი გეოფიზიკის (მეცნ. კანდ. ვ. ჭიჭინაძე), 5. მზე-დედამიწის კავშირების (მეცნ. დოქტ. ა. გველესიანი). 6. ატმოსფეროს ფიზიკის (მეცნ. დოქტ. ა. ამირანაშვილი), 7. ზღვის და ატმოსფეროს პროცესების მათემატიკური მოდელირების (პროფ. ა. კორძაძე). სულ 87 თანამშრომელია, მათ შორის 55 – სამეცნიერო კადრია, 17 დოქტორია და 32 მეცნიერებათა კანდიდატი.

ინსტიტუტის არსებობის მანძილზე ინსტიტუტის თანამშრომლების მიერ დაცულია 230-მდე დისერტაცია, მათ შორის 39 სადოქტორო, 182 საკანდიდატო და 6 აკადემიური დოქტორის წოდებაზე. ქვემოთ მოგვყავს იმ თანამშრომელთა სია, რომლებმაც დაიცვეს სადოქტორო დისერტაციები: მ. ნოდია-პროფ., ა. ბალაბუევი-პროფ., გ. სულაქველიძე-პროფ., ბ. ბალაბუევი-აკად., გ. თვალთვაძე-პროფ., ლ. ჭანტურიშვილი-პროფ., ე. ბიუსი (დაცვის გარეშე)-პროფ., ა. ბუნნიკაშვილი-პროფ., ა. ხანთაძე-პროფ., თ. ჭელიძე-აკად., ე. ჯიბლაძე-პროფ., ლ. შათაშვილი-პროფ., დ. სიხარულიძე-პროფ., ა. გველესიანი, კ.მ. ქართველიშვილი, გ. ხოჭოლავა, გ. შენგელაია-წევრ/კორ., მ. ალანია-პროფ., მ. იოსელიანი-პროფ., თ. გოცაძე, კ.ზ. ქართველიშვილი, გ. გუგუნავა, თ. გზირიშვილი, ზ. კერესელიძე, ი. მანჯავიძე, ვ. აბაშიძე-პროფ., პ. მინდელი, ჯ. კაპანაძე-პროფ., ჯ. ხარჩილავა, თ. ლურსმანაშვილი, ა. ჩხეტია, ა. გირგვლიანი, თ. მაჭარაშვილი-პროფ., ნ. თუთბერიძე, დ. დემეტრაშვილი, ა. სურმავა, ა. ამირანაშვილი, გ. მელიქაძე. 2013 წლიდან საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის აკადემიკოსებია: აკადემიის წევრ/კორ. თ. ჭელიძე და წევრ/კორ. გ. ჩაგელიშვილი. აკადემიკოსის წოდება მიღებული აქვს 1974 წელს წევრ/კორ. ბ. ბალაბუევი, 1988წელს კი წევრ/კორ. მ. ალექსიძეს.

2007 წელს ინსტიტუტში აკად. ჯ. ლომინაძის ხელმძღვანელობით კოსმოსური სააგენტოს ბაზაზე ჩამოყალიბდა კოსმოსური კვლევის ცენტრი. ცენტრის მეშვეობით ინსტიტუტი აქტიურად მონაწილეობს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროს და საქართველოს ნაციონალური ფონდის „კოსმიური ოდისეა“ პროექტებში (წ/კორ. გ. ჩაგელიშვილი, პროფ. ა. ხანთაძე, მეცნ. კანდიდატები მ. ლომოური, ლ. გეონჯიანი, გ. თვაური და სხვ.).

დაარსდა ჰიდროგეოფიზიკისა და გეოთერმიის კვლევითი ცენტრი, ხელმძღვანელი გეოლ.-მინ. მეც. დოქტ. გ. მელიქაძე. შეისწავლება მიწისქვეშა წყლების გენეზისი, მათი მოძრაობის მიმართულება, დაბინძურება, თერმული და ჰიდროქიმიური რეჟიმი, კვლევების თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით.

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

2008 წლის 18-19 ნოემბერს ჩატარდა საერთაშორისო კონფერენცია „კლიმატი, ბუნებრივი რესურსები, სტიქიური კატასტროფები სამხრეთ კავკასიაში“. კონფერენცია მიემდვნა თბილისის მაგნიტურ-მეტეოროლოგიური ობსერვატორიის დაარსების 165-ე, მ. ნოდისა გეოფიზიკის ინსტიტუტის დაარსების 75-ე და ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის დაარსების 55-ე წლისთავს. კონფერენცია ჩატარდა საქართველოს ეროვნული მეცნიერებათა აკადემიის სხდომათა დარბაზში.

2013 წლის 9-10 დეკემბერს ჩატარდა საერთაშორისო კონფერენცია „გეოფიზიკის აქტუალური პრობლემები“. კონფერენცია მიემდვნა მიხეილ ნოდისა გეოფიზიკის ინსტიტუტის დაარსების 80 წლისთავს. კონფერენცია ჩატარდა საქართველოს ეროვნული მეცნიერებათა აკადემიის სხდომათა დარბაზში.

თანამშრომელთა მიერ მიღებული პატენტები:

დიპლომი 192 აღმოჩენაზე „ორგანულ შიგაკომპლექსურ (ხელატური) ნაერთთა თვისება გამოიწვიოს ატმოსფეროში გადამეტცივებული წყლის სისტემების აქტიური კრისტალიზაცია“. 26 თებერვალი, 2002 წ. (სარეგისტრაციო ნომერი №220), ავტორი მეცნ. კანდ. ა. ქარცივაძე (თანავტორები: ვ. პატრიკევი და ა. მალკინა). ა. ქარცივაძემ აგრეთვე 1985 წლის 16 აპრილს მიიღო სსრკ მინისტრთა საბჭოს პრემია ეფექტური ქიმიური საშუალებების შექმნასთან დაკავშირებით, სასოფლო-სამეურნეო კულტურების სექციისაგან დასაცავად.

საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრის „საქპატენტი“-ს მიერ გაცემულია პატენტი P 1881 გამოგონებაზე „მაგმატოგენური და სედიმენტოგენური სასარგებლო წიაღისეულის საბადოებზე პერსპექტიული რეგიონების ძიების ხერხი“. 23 თებერვალი 1998 წ. ავტორები: მეცნ. დოქტ. გ. გუგუნავა და მეცნ.-თან. ნ. გუგუნავა-ჩიქოვანი.

გამოგონება „მაიონიზებული გამოსხივების პროპორციული მთვლელის ელექტრონული ინტერფეისი“. ავტორები, აკადემიური დოქტორები: ნ. ლლონტი, ზ. დემურიშვილი, ნ. ნაჭყებია, ირ. ტუსკია და დ. ბოჩიკაშვილი, 2003 წ.

საავტორო მოწმობა „დედამიწის შინაგანი აგებულებისა და ძირითადი ფიზიკური პარამეტრების სიღრმული განაწილების სისტემაში მოყვანილი სადემონსტრაციო მაკეტის მოდელი“. 1994 წ. ავტორი – წ/კორ. გ. შენგელაია.

სხვადასხვა ჯილდოები:

2009 წლის 30 ოქტომბერს საქართველოს ეროვნულმა აკადემიამ პროფ. მიხეილ ნოდის სახელობის პრემიით დააჯილდოვა წ/კორ. თ. ჭელიძე, მეცნიერებათა დოქტორები:

თ. მაჭარაშვილი და თ. ლურსმანაშვილი ნაშრომთა ციკლისათვის „არაწრფივი დინამიკის მეთოდების გამოყენება სეისმოლოგიის პრობლემების გადასაწყვეტად“. 2012 წელს პროფ. მიხეილ ნოდისას სახ. პრემიით დაჯილდოვდნენ პროფ. ა. კორძაძე და მეცნ. დოქტორი დ. დემეტრაშვილი შრომთა ციკლისათვის „შავ ზღვაში მიმდინარე ჰიდროდინამიკური პროცესების მათემატიკური მოდელირება და მის საფუძველზე შავი ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილის მდგომარეობის ოპერატიული პროგნოზული სისტემის შემუშავება“.

აკადემიურ დოქტორს ნ. ლლონტს მინიჭებული აქვს საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის პრეზიდიუმის პრემია.

ბოლო წლებში თემაზე „საქართველოს კლიმატის ცვლილებები“ გამოქვეყნებული სამეცნიერო ნაშრომებისათვის 2009 წელს საქართველოს ეროვნული პრემიის ლაურეატის დიპლომი გადაეცა მეცნიერებათა დოქტორს ავთ. ამირანაშვილს.

მონოგრაფიისათვის „ელიზბარ მინდელი“ 2001 წელს ფიზ.-მათ. მეცნ. დოქტორ პ. მინდელს გადაეცა საქართველოს მეცნ. აკადემიის წევრ/კორ. ელიზბარ მინდელის სახელობის პრემია.

2013 წელს აკად. თ. ჭელიძე არჩეულია თბილისის საპატიო მოქალაქედ, ხოლო პროფ. ვ. აბაშიძე – ქ. ხარაგაულის საპატიო მოქალაქედ.

ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ივანე ჯავახიშვილის მედლით დაჯილდოვდნენ: აკად. 2014 წ. თ. ჭელიძე, 2015 წ. პროფ. ა. კორძაძე, 2016 წ. მეცნ. დოქტ. კ.ზ. ქართველიშვილი, 2019 წ. პროფ. შ. ადამია.

საქართველოს ღირსების ორდენით დაჯილდოებულნი არიან: 1997 წ. – აკად. ბ. ბალავაძე, 1999 წ. – მეცნ. კანდ. ი. აივაზიშვილი, 1998 წ. – პროფ. ლ. შათაშვილი, 2000 წ.: წევრ/კორ. თ. ჭელიძე, პროფ. დ. სიხარულიძე, წევრ/კორ. გ. შენგელაია, პროფ. ე. ჯიბლაძე, პროფ. ვ. აბაშიძე, 2013 წ. – პროფ. თ. მაჭარაშვილი, მეცნ. დოქტ. ა. გველესიანი, ლ. დარახველიძე. 2000 წ. ღირსების მედლით დაჯილდოვდნენ მეცნ. კანდიდატები: ა. ახალბედაშვილი, თ. ვარაზანაშვილი, ვ. პაპალაშვილი და ზ. ჯავახიშვილი, ხოლო დ. ბაკურაძეს, ლ. დარახველიძეს, ი. დარბინიანს, მ. ზედგენიძეს, გ. კაპანაძეს, ე. კაპანაძეს, ა. კაპანაძეს, ლ. კახიანს, ლ. ლაბაძეს, ც. სიბოშვილს, ც. ტაბუცაძეს, ე. შენგელიას, გ. ციკოლიას და თ. ხელაშვილს გამოეცხადათ საქართველოს პრეზიდენტის მადლობა.

საქართველოს მეცნიერების დამსახურებული მოღვაწის წოდება მიღებული ჰქონდათ პროფესორებს: მ. ნოდისას – 1944 წ., ე. ბიუსს – 1946 წ., ა. ბალაბუევს – 1961 წ., ბ. ბალავაძეს – 1961 წ., გ. თვალთვაძეს – 1967 წ., ა. ბუხნიკაშვილს – 1969 წ.

ლენინის ორდენით იყვნენ დაჯილდოებულნი პროფესორები: ე. ბიუსი, ა. ბალაბუევი, მ. ნოდია და გ. თვალთვაძე. ა. ქარცივაძე.

ინსტიტუტის არსებობის მანძილზე გამოქვეყნებულია 400 წიგნი: მათ შორის ინსტიტუტის შრომების 75 ტომი, საქართველოს გეოფიზიკური საზოგადოების ჟურნალები (სერია ა. – 19 ტომი, სერია ბ. – 16 ტომი, შემდეგ – ელექტრონული ვერსია), 88 მონოგრაფია, 14 სახელმძღვანელო, 12 კრებული, 48 ბიულეტენი, 17 ბიბლიოგრაფია, 1 ტერმინოლოგია, ატლასები, რუკები, ბროშურები, პოსტერები და სხვა.

ინსტიტუტის ამჟამინდელი სტრუქტურაა: გამოყენებითი და ექსპერიმენტული გეოფიზიკის სექტორი (აკად. თ. ჭელიძე); გეოფიზიკური ველების დინამიკისა და გამოთვლითი გეოფიზიკის სექტ. (პროფ. თ. მაჭარაშვილი); სეისმოლოგიის, სეისმური საშიშროების და კატასტროფების რისკის სექტ. (აკად. დოქტ. ნ. წერეთელი); ატმოსფეროს ფიზიკის

სექტ. (მეცნ. დოქტ. ა. ამირანაშვილი); დედამიწის ფიზიკის და გეომაგნეტიზმის სექტ. (აკად. დოქტ. თ. ქირია); ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკური მოდელირების სექტ. (მეცნ. დოქტ. დ. დემეტრაშვილი); კოსმოსური კვლევის ცენტრი (აკად. დოქტ. დ. ზილფიმიანი); კოსმოფიზიკური ობსერვატორია (აკადემიური დოქტ. თ. ბაქრაძე); ჰიდროგეოფიზიკისა და გეოთერმიის კვლევის ცენტრი (მეცნ. დოქტ. გ. მელიქაძე); დუშეთის გეოფიზიკური ობსერვატორია (აკადემიური დოქტ. რ. გოგუა).

ინსტიტუტი აგრძელებს მეცნიერულ კვლევებს შემდეგი მიმართულებებით: სეისმო-დარაიონება, სეისმური საშიშროების რუკის შექმნა, მიწისძვრების წინამორბედთა კვლევა, სეისმური და მეწყერული პროცესების ლაბორატორიული და მათემატიკური მოდელირება, მავნე მეტეოროლოგიურ მოვლენებზე აქტიური ზემოქმედება, საძიებო და საინჟინრო გეოფიზიკური მეთოდების სრულყოფა, მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე ატმოსფეროსა და შავ ზღვაში ჰიდროთერმოდინამიკური და ეკოლოგიური პროცესების შესწავლა მონიტორინგის განხორციელების გზით და მათი პროგნოზირება, კოსმოსური სივრცისა და მზე-დედამიწის კავშირების კვლევა, ეკოლოგიური გეოფიზიკა, არქეოგეოფიზიკური კვლევები, ჰიდროგეოფიზიკური და გეოთერმული კვლევები, კვლევები იზოტოპური მეთოდების გამოყენებით, ბუნებრივი კატასტროფების ლაბორატორიული და მათემატიკური მოდელირება, მათი სავსე კვლევები, საშიშროების და რისკის შეფასება, საქართველოს ბუნებრივი საშიშროების მოვლენების პირველი მონაცემთა ბაზა ხუთი ტიპის ბუნებრივი საშიშროების მოვლენების (მეწყერი, ღვარცოფი, წყალმოვარდნა, გრიგალური ქარი და სეტყვა), მეწყერების და ღვარცოფების ტელემეტრული ადრეული შეტყობინების დაპატენტებული სისტემა, მდინარის დონის და ნალექების ინტენსივობის მონიტორინგის ტელემეტრული სისტემა, არაწრფივი დინამიკური კვლევის მეთოდები. თითქმის არ არსებობს საქართველოში სტრატეგიული მნიშვნელობის ინფრასტრუქტურული, სამშენებლო პროექტი, რომელშიც გეოფიზიკის ინსტიტუტს მონაწილეობა არ ჰქონდეს მიღებული. მონაწილეობა აქვს მიღებული თითქმის ყველა ბუნებრივი კატასტროფის შესწავლასა და შეფასებაში. ინსტიტუტის სპეციალისტები მონაწილეობენ ტურისტული ზონების და კურორტების შესწავლაში და მათ პასპორტიზაციაში.

2023 წელს ფიზ.-მათ. მეცნ. აკადემიური დოქტორი ნ. ლლონტი დაჯილდოვდა ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ივანე ჯავახიშვილის მედლით, ხოლო ფიზ.-მათ. მეცნ. აკადემიური დოქტორი ო. ვარაზანაშვილი – თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მედლით.

ინსტიტუტში 111 თანამშრომელია, მათ შორის: 65 – სამეცნიერო პერსონალი, 11 – მეცნიერებათა დოქტორი (მათ შორის 2 – აკადემიკოსი 2 – პროფესორი), 33 – აკადემიური დოქტორი (მათ შორის 1 – პროფესორი).

2023 წლის 12 ივლისიდან გეოფიზიკის ინსტიტუტის დირექტორად არჩეულია აკადემიური დოქტორი ნ. ვარამაშვილი. აკადემიური დოქტორი ნ. ლლონტი დაინიშნა დირექტორის მოადგილედ საფინანსო-სამეურნეო დარგში; მოადგილე სამეცნიერო დარგში – პროფ. ჯ. ქირია; სამეცნიერო საბჭოს თავმჯდომარე – აკად. თ. ჭელიძე, ხოლო მდივანი – აკადემიური დოქტორი დ. კირკიტაძე.

ამჟამად ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის პროფ. მიხეილ ნოდინას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის მისამართია: თბილისი, მ. ალექსიძის (ყოფილი ზ. რუხაძის) ქ. №1.

მადლობას ვუხდით ფიზ.მათ. მეცნიერებათა აკადემიურ დოქტორებს მ.ნიკოლაიშვილსა და ნ. ვარამაშვილს გაწეული დახმარებისთვის.

ლიტერატურა – References – Литература

- [1] А.В. Бухникашвили. Геофизика в Грузии. Труды Ин-та геофизики. -1957. Т.26. С. 3-31.
- [2] ალ. ბუხნიკაშვილი. გეოფიზიკა საქართველოში. ხელნაწერი. გეოფიზიკის ინ-ის ფონდები. 1964-65 წწ.
- [3] მ. მანია. თბილისის გეოფიზიკური ობსერვატორია. 2010. 191 გვ.
- [4] Т.Л. Челидзе, Л.К. Дарахвелидзе. Институт геофизики им. М.З. Нодиа. (К 80 годовщине со дня основания) Труды Ин-та геоф. 2013. Т.64. С.3-15.
- [5] საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის საარქივო მასალები გეოფიზიკის ინსტიტუტის დაარსების შესახებ.

მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი – 90

დარახველიძე ლ.

რეზიუმე

1933 წლის 1 ნოემბერს საქართველოს მთავრობის დადგენილებით, რომელიც ემყარებოდა ყოფილი საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის გადაწყვეტილებას, სსრკ აკადემიის საქართველოს ფილიალის სისტემაში დაარსდა გეოფიზიკური ინსტიტუტი. გეოფიზიკური ინსტიტუტი დაარსდა საქართველოს გეოფიზიკური ობსერვატორიის ბაზაზე, რომელიც კავკასიაში წარმოადგენდა მძლავრ სამეცნიერო ცენტრს. ინსტიტუტის დაარსების ინიციატორები იყვნენ: საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის სეისმოლოგიური ინსტიტუტის დირექტორი, პროფ. პ. ნიკიფოროვი, აკად. ნ. მუსხელიშვილი, პროფ. მ. ნოდია, დოცენტი ალ. ცხაკაია, პროფ. ე. ბიუსი. ძირითადად გეოფიზიკური ინსტიტუტის შექმნის და შემდგომ მისი მუშაობის წარმართველი პროფ. მ. ნოდია იყო. ინსტიტუტისათვის სათანადო კადრების მოსამზადებლად პროფ. პ. ნიკიფოროვისა და მ. ნოდია ინიციატივით სეისმოლოგიურ ინსტიტუტში შეიქმნა დაქპარებული ასპირანტურა, სადაც სეისმოლოგიაში და საძიებო გეოფიზიკის დარგში კადრების მოსამზადებლად მივლინებული იყვნენ: ალ. ცხაკაია, ბ. ბალავაძე, გ. თვალთვაძე, ვ. ქეზულაძე, ალ. ბუხნიკაშვილი და სხვ. მათ სამეცნიერო ხელმძღვანელობას უწევდნენ ცნობილი მეცნიერები: პროფ. ა. პეტროვსკი, პროფ. მ. სადოვსკი, პროფ. ე. კორიდალინი, პროფ. დ. კირნოსი, პროფ. დ. ხარინი და სხვ.

ასპირანტურის დამთავრების შემდეგ ისინი მონაწილეობას ღებულობდნენ ინსტიტუტის დაარსებაში, სათავეში ჩაუდგნენ ინსტიტუტის სამეცნიერო-კვლევით მუშაობას და წარმოადგენდნენ ინსტიტუტის წამყვან მეცნიერთა ძირითად ბირთვს. უნდა აღინიშნოს, რომ ამავე დროს თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში პროფ. მ.ნოდიათა თაოსნობით გაიხსნა გეოფიზიკის კათედრა, რომელმაც დიდი წვლილი შეიტანა გეოფიზიკაში ნაციონალური კადრების აღზრდის საქმეში. გეოფიზიკური ინსტიტუტის დირექტორად დაინიშნა პროფ. პ. ნიკიფოროვი, მოადგილეებად – აკად. ნ. მუსხელიშვილი და პროფ. მ. ნოდია, სწ. მდივანაძე – ალ. ცხაკაია. ინსტიტუტის სტრუქტურა ასე გამოიყურებოდა: თეორიული გეოფიზიკის განყოფილება (ნ. მუსხელიშვილი), ექსპერიმენტული გეოფიზიკის გან-ბა (მ. ნოდია) და სეისმური სამსახურის განყოფილება (ევგ. ბიუსი). 1941 წელს გეოფიზიკური ინსტიტუტის ბაზაზე დაარსდა ფიზიკისა და გეოფიზიკის ინსტიტუტი (დირექტორი პროფ. მ. ნოდია, შემდეგ პროფ. მ. მირიანაშვილი). –

1950 წელს ეს ინსტიტუტი გაიყო და დამოუკიდებლად დაარსდა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტი. დირექტორად დაინიშნა ბ. ბალავაძე. ინსტიტუტის დირექტორის თანამდებობა სხვადასხვა წელს ეკავათ პროფ.: ალ ბუხნიკაშვილს, აკად. ბ. ბალავაძეს მეორედ 1972 წლიდან, აკად. მ. ალექსიძეს, აკად. თ. ჭელიძეს, აკადემიურ დოქტორ ნ. ლლონტს.

1956 წელს ინსტიტუტს გადმოეცა დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორია და თბილისის კოსმოსური სხივების სადგური. 1959 წელს ატმოსფეროს ფიზიკის განყოფილებაში შეიქმნა ალაზნის სექციის საწინააღმდეგო ბაზა სოფელ რუისპირში. 1964 წელს ამოქმედდა ინსტიტუტის მთაწმინდის დედამიწის მიმოქცევის შემსწავლელი მიწისქვეშა ლაბორატორია, მწყობრში ჩადგა უნიკალური ექსპერიმენტული კომპლექსი ატმოსფეროს ფიზიკაში – თერმობაროკამერა. 1976 წელს ქალაქის გარეუბანში ექსპლოატაციაში შევიდა სეისმოლოგიური ობსერვატორია „თბილისი“. 1979 წელს ინსტიტუტში დამოუკიდებელ ბალანსზე ჩამოყალიბდა საცდელ-მეთოდური სეისმოლოგიური პარტია, შემდეგ საცდელ-მეთოდური გეოფიზიკური ექსპედიცია, რომელიც „სეისმოლოგიური მონიტორინგის ცენტრის“ სახელწოდებით 2006 წელს, სეისმოლოგიურ ობსერვატორიასთან ერთად, გამოეყო ინსტიტუტს.

1992 წელს გეოფიზიკის ინსტიტუტს მიეკუთვნა საქართველოში გეოფიზიკური მეცნიერების ფუძემდებლის, გამოჩენილი მეცნიერის, პროფ. მიხეილ ნოდისას სახელი.

1996 წელს ევროსაბჭომ საქართველოში დააფუძნა „მაღლივი კაშხლების გეოდინამიკური რისკის ცენტრი“. 2000-იან წლებში ინსტიტუტში ჩამოყალიბდა კოსმოსური კვლევის ცენტრი და ჰიდროგეოფიზიკისა და გეოთერმიის კვლევის ცენტრი.

ინსტიტუტი განუწყვეტლივ აფართოებს და აღრმავებს სამეცნიერო-კვლევით სამუშაოებს, რომლებიც ეხება გეოფიზიკური ველების, დედამიწის ქერქის სიღრმული აგებულების, თანამედროვე მოძრაობების და დეფორმაციების შესწავლას; კვლევებს სეისმოდარაიონების, მიწისძვრების პროგნოზის, ატმოსფეროს ფიზიკის, მავნე მეტეოროლოგიურ მოვლენებზე აქტიური ზემოქმედების, საინჟინრო და საძიებო გეოფიზიკური მეთოდების სრულყოფის, შავი ზღვისა და ატმოსფეროს თერმოდინამიკური და ეკოლოგიური პროცესების, კოსმოსური სივრცისა და მზე-დედამიწის კავშირების ფიზიკის, ეკოლოგიური გეოფიზიკის, არქეოგეოფიზიკური, ჰიდროგეოფიზიკური მოვლენების კვლევების დარგებში.

ინსტიტუტის არსებობის მანძილზე გამოქვეყნებულია 400-ზე მეტი წიგნი, მათ შორის 75 – ინსტიტუტის შრომები, 40 – საქართველოს გეოფიზიკური საზოგადოების ჟურნალი, 88 – მონოგრაფია და სხვ. დაცულია 227 დისერტაცია, მათ შორის 35 – სადოქტორო, 182 – საკანდიდატო, ხოლო 6 – აკადემიური დოქტორის ხარისხზე.

2023 წლის ივლისიდან ინსტიტუტის დირექტორად არჩეულია ფიზ.-მათ. მეცნ. აკადემიური დოქტორი ნ. ვარამაშვილი. დირექტორის მოადგილეები არიან: პროფ. ჯ. ქირია – სამეცნიერო ნაწილში, აკადემიური დოქტორი ნ. ლლონტი საფინანსო-ეკონომიურ დარგში. ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს თავმჯდომარეა აკად. თ. ჭელიძე, ხოლო აკადემიური დოქტორი დ. კირკიტაძე საბჭოს მდივანია.

2010 წლიდან ინსტიტუტი თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის შემადგენლობაშია. ინსტიტუტის სახელწოდებაა: ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდისას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი. ინსტიტუტის მისამართია: აკად. მ. ალექსიძის №1.

საკვანძო სიტყვები: გეოფიზიკა, მყარი დედამიწის ფიზიკა, ატმოსფერო, ოკეანე, კოსმოსური პლაზმა; ბიოსფერო.

Darakhvelidze L.

Abstract

On November 1, 1933, by decree of the Government of Georgia, based on the decision of the Presidium of the Academy of Sciences of the former USSR, the Geophysical Institute was established in the system of the Georgian branch of the Transcaucasian branch of the USSR Academy of Sciences. The Geophysical Institute was organized on the basis of the Georgian Geophysical Observatory, which was a powerful scientific center in the Caucasus. The initiators of the founding of the Institute were the director of the Seismological Institute of the USSR Academy of Sciences, prof. P.M. Nikiforov, acad. N.I. Muskhelishvili, prof. M.Z. Nodia, Associate Professor A.D. Tskhakaya and prof. Evg. I. Byus. The first scientific personnel of the Institute were then young workers: A.D. Tskhakaya, B.K. Balavadze, G.K. Tvaltvadze, V.V. Kebuladze, A.V. Bukhnikashvili and others, who completed a short-term postgraduate course at the Seismological Institute of the USSR Academy of Sciences under the scientific supervision of famous scientists academician M.A. Sadovsky, Prof. P. M. Nikiforov, Prof. A.A. Petrovsky, prof. D.P. Kirnos and others.

After graduating from graduate school, they took an active part in organizing the institute and in its first research work on the study of the country's natural resources. At the same time, at Tbilisi State University, on the initiative of prof. M.Z. Nodia founded the Department of Geophysics, which played a big role in educating national personnel in geophysics. The first director of the Geophysical Institute was prof. P.M. Nikiforov, and as deputies – Academician N.I. Muskhelishvili and prof. M.Z. Nodia, scientific secretary Assoc. Prof. A.D. Tskhakaya. The structure of the institute consisted of three departments: theoretical geophysics (N.I. Muskhelishvili), experimental geophysics (M.Z. Nodia) and seismic service department (E.I. Byus). With the founding of the institute in Georgia, a new rise in geophysical science began. The Institute expanded, scientific bases and new departments were acquired and created, and the scientific scope of the Institute expanded. The institute conducted scientific research in the following scientific areas: the physics of the earth's crust, seismic zoning of the territory of Georgia, the study of earthquake precursors, the physics of solar-terrestrial connections, the development and improvement of exploration and engineering geophysical methods, atmospheric physics and active influence on hazardous meteorological phenomena, the study of thermodynamic and environmental processes in the Black Sea and in the atmosphere, space exploration, environmental geophysics, archaeogeophysical research, hydrogeophysics. In 1941, the Geophysical Institute was reorganized into the Institute of Physics and Geophysics, and since 1950 it has existed independently as the Institute of Geophysics of the Georgian Academy of Sciences. Academician was appointed director of the Institute. B.K. Balavadze. The position of director of the Institute in different years was occupied by prof. A.V. Bukhnikashvili, acad. M.A. Aleksidze, academician T.L. Chelidze, academic doctor N.Ya. Glonti.

In 1956, the Dusheti Magnetic Observatory and the Tbilisi Cosmic Ray Station were transferred to the Institute. In 1959, the Alazani anti-hail base was created at the Department of Atmospheric Physics in the village of Ruispiri. In 1964, an underground laboratory was organized under Mount Mtatsminda to study earth tides, and a unique experimental complex (thermobaric chamber) was created to simulate atmospheric processes. In 1976, a new seismological observatory “Tbilisi” was built on the outskirts of the city. Since 1979, the Experimental-Methodological Seismological Party functioned at the Institute, later the Experimental-Methodological Geophysical Expedition, which under the name “Seismic Monitoring Center” was separated from the Institute in 2006 along with a seismological observatory.

In 1992, the Institute was named after the famous geophysicist Professor Mikheil Zosimovich Nodia.

Over the past decades, the Institute has organized a Center for Space Research, a Center for Hydrogeophysical and Geothermal Research, and a Center for Geodynamic Risk of High-Rise Dams.

During the entire existence of the Institute: over 400 books have been published, including 75 Proceedings of the Institute, 88 monographs, 40 journals of the Georgian Geophysical Society, etc. 227 dissertations have been defended, including 39 doctoral dissertations, 182 candidate dissertations, 6 academic doctoral dissertations.

On July 12, 2023, Academic Doctor of Physics and Mathematics was elected director of the Institute of Geophysics. Sciences N.D. Varamashvili, deputy director for scientific affairs is prof. D.K. Kiria, deputy in the financial and economic sphere – academic doctor N.Ya. Glonti. The Chairman of the Scientific Council of the Institute is Academician. T.L. Chelidze, and the secretary of the council was academic doctor D. D. Kirkitadze.

Since 2010, the Institute of Geophysics has been part of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University.

Address of the M. Nodia Institute of Geophysics, TSU: Tbilisi, Georgia, 1, M. Aleksidze str.

Key words: geophysics, physics of the solid earth, atmosphere, ocean, space plasma; biosphere.

ИНСТИТУТ ГЕОФИЗИКИ ИМ. М.З. НОДИА, ТГУ – 90

Дарахвелидзе Л.К.

Реферат

1 ноября 1933 года, постановлением Правительства Грузии, основанным на решении Президиума Академии наук бывшего СССР, в системе Грузинского отделения Закавказского филиала АН СССР был учрежден Геофизический институт. Геофизический институт был организован на базе Грузинской геофизической обсерватории, которая являлась мощным научным центром на Кавказе. Инициаторами основания Института были директор Сейсмологического института АН СССР проф. П.М. Никифоров, акад. Н.И. Мухелишвили, проф. М.З. Нодиа, доцент А.Д. Цхакая и проф. Евг. И. Бюс. Первыми научными кадрами Института были молодые тогда работники: А.Д. Цхакая, Б.К. Балавадзе, Г.К. Твалтвадзе, В.В. Кебуладзе, А.В. Бухникашвили и др., прошедшие краткосрочный аспирантский курс в Сейсмологическом институте АН СССР под научным руководством известных ученых акад. М.А. Садовского, проф. П. М. Никифорова, проф. А.А. Петровского, проф. Д.П. Кирноса и др.

После окончания аспирантуры они приняли активное участие в организации института и в первых его научно-исследовательских работах по изучению природных ресурсов страны. Одновременно в Тбилисском государственном университете по инициативе проф. М.З. Нодиа была основана кафедра геофизики, которая сыграла большую роль в деле воспитания национальных кадров по геофизике. Первым директором Геофизического института был проф. П.М. Никифоров, а заместителями – акад. Н.И. Мухелишвили и проф. М.З. Нодиа, ученым секретарем доц. А.Д. Цхакая. Структура института состояла из трех отделов: теоретической геофизики (Н.И. Мухелишвили), экспериментальной геофизики (М.З. Нодиа) и отдела сейсмической службы (Е.И. Бюс). С основанием института в Грузии начался новый подъем геофизической науки. Институт расширялся, приобретались и создавались научные базы и новые отделы, расширялась научная тематика института. В институте велись научные исследования по следующим научным направлениям: по физике земной коры, сейсморайонированию территории Грузии, исследованию предвестников землетрясений, физике солнечно-земных связей, разработке и усовершенствованию разведочных и инженерных геофизических методов, физике атмосферы и активному воздействию на опасные метеорологические явления, изучению термодинамических и экологических процессов в Черном море и в атмосфере, исследованию косми-

ческого пространства, экологической геофизике, археогеофизическим исследованиям, гидрогеофизике. В 1941 году Геофизический институт был реорганизован в Институт физики и геофизики, а с 1950 года самостоятельно существует как Институт геофизики АН Грузии. Директором Института был назначен акад. Б.К. Балавадзе. Должность директора Института в разные годы занимали проф. А.В. Бухникашвили, акад. М.А. Алексидзе, акад Т.Л. Челидзе, академический доктор Н.Я. Глonti.

В 1956 году Институту были переданы Душетская магнитная обсерватория и Тбилисская станция космических лучей. В 1959 году при отделе физики атмосферы была создана Алазанская противорадовая база в селе Руиспири. В 1964 году под горой Мтацминда была организована подземная лаборатория для изучения земных приливов, был создан уникальный экспериментальный комплекс (термобарокамера) для моделирования атмосферных процессов. В 1976 году на окраине города была построена новая сейсмологическая обсерватория «Тбилиси». С 1979 года в Институте функционировала Опытно-методическая сейсмологическая партия, позже Опытно-методическая геофизическая экспедиция, которая под названием «Центр сейсмического мониторинга» в 2006 году выделилась вместе с сейсмологической обсерваторией из Института.

В 1992 году Институту присвоено имя известного ученого-геофизика профессора Михаила Зосимовича Нодиа.

За последние десятилетия в Институте организованы Центр космических исследований, Центр гидрогеофизических и геотермических исследований, Центр геодинамического риска высотных плотин.

За все время существования Института: издано свыше 400 книг, в том числе 75 Трудов института, 88 монографий, 40 журналов Грузинского геофизического общества и др. Защищено 227 диссертаций, в том числе 39 –докторских, 182 -кандидатских, 6 – на степень академического доктора.

12 июля 2023 года директором Института геофизики был избран академический доктор физ.-мат. наук Н. Д. Варамашвили, заместителем директора по научной части является проф. Д.К. Кириа, заместителем в финансово-экономической сфере – академический доктор Н.Я. Глonti. Председателем ученого совета Института является акад. Т.Л. Челидзе, а секретарем совета – академический доктор Д. Д. Киркитадзе.

С 2010 года Институт геофизики находится в составе Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили.

Адрес Института геофизики им. М.З. Нодиа Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили: ул. акад. М. Алексидзе №1.

Ключевые слова: геофизика, физика твердой оболочки земли, атмосферы, океана, космической плазмы; биосфера.

თურქეთის ძლიერი მიწისძვრის გავლენა ენგურჰესის თაღოვან კაშხალზე და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე

¹ქირია ჯ., ¹ცაგურია თ., ²საყვარელიძე ე., ¹დოვგალი ნ.,

¹დავითაშვილი ლ., ²ქუთელია გ.

*¹ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
მიხეილ ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი*

²ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ენგურჰესის კაშხლის ფუძეში გადის ინგირიშის ნაპრალის განშტოება, რომელზეც წარმოებს გეოფიზიკური დაკვირვება (დეფორმოგრაფი). ნაპრალის ბორტები მოძრაობენ ჰესში წყლის დონის ცვალებადობის დროს. ბორტების ამოძრავება ასევე შეუძლია ძლიერ მიწისძვრასაც.

თურქეთის 6 თებერვლის მიწისძვრამ გამოიწვია ამ ნაპრალის ბორტების დეფორმაცია. როგორც ნახ.1 ჩანს დეფორმაციის სიდიდე არ აღემატება 8 მიკრონს. დაახლოებით 10 საათის შემდეგ ისევ განმეორდა ბიბგი, რომელმაც გამოიწვია 3 მიკრონამდე დეფორმაცია. ე.ი. სრული დეფორმაცია 10-11 მიკრონამდე აღწევს. ეს დეფორმაცია კაშხლისთვის რაიმე საშიშროებას არ წარმოადგენს, რადგან წყლის დონის ცვლილებით და ნალექების გავლენით გამოწვეული დეფორმაციები ნაპრალზე უფრო დიდი მნიშვნელობის არიან.

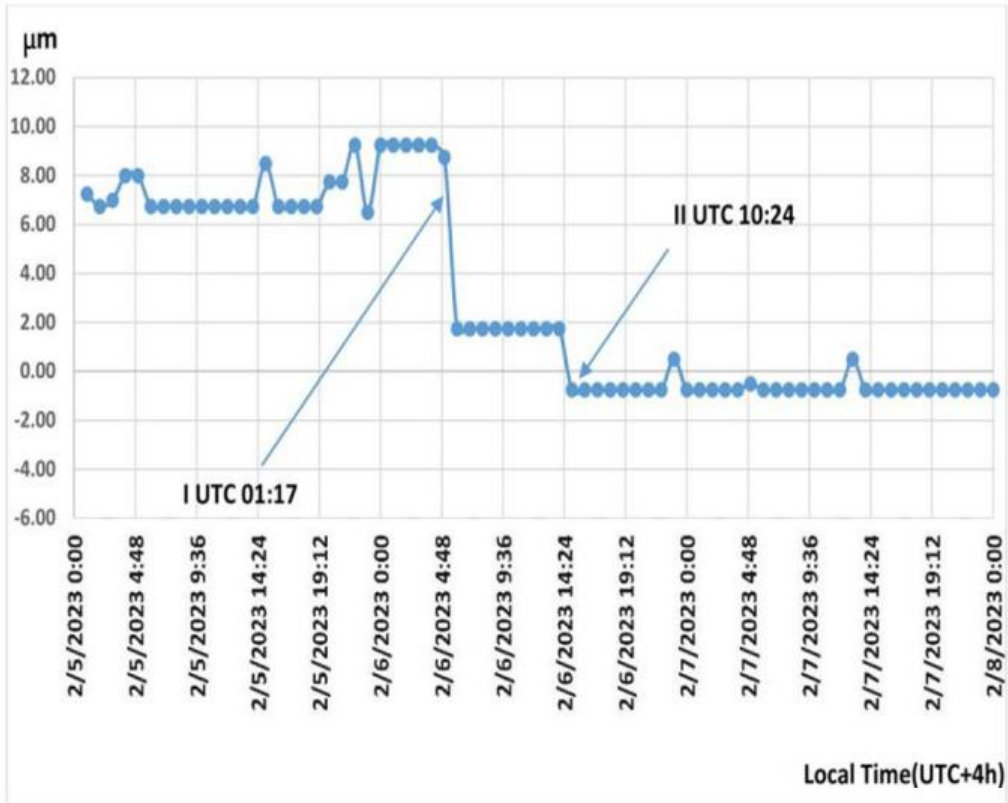
გეოფიზიკურმა ხელსაწყომ, რომელიც მდებარეობს კაშხლის მარცხენა სანაპიროს ფუძეში, დააფიქსირა ქანების ზედაპირის დახრა დაახლოებით 0.6 კუთხური წამით, ნახ.(2-3), რაც ძალიან მცირე სიდიდეა.

თვით თაღოვანი კაშხლის ტანში განლაგებულია შვიდი დაკვირვების პუნქტი, სადაც იზომება კაშხლის შენობის გადახრა კუთხურ წამებში. ნახაზებზე (4-17) წარმოდგენილია დაკვირვების პუნქტებში დახრების მნიშვნელობები.

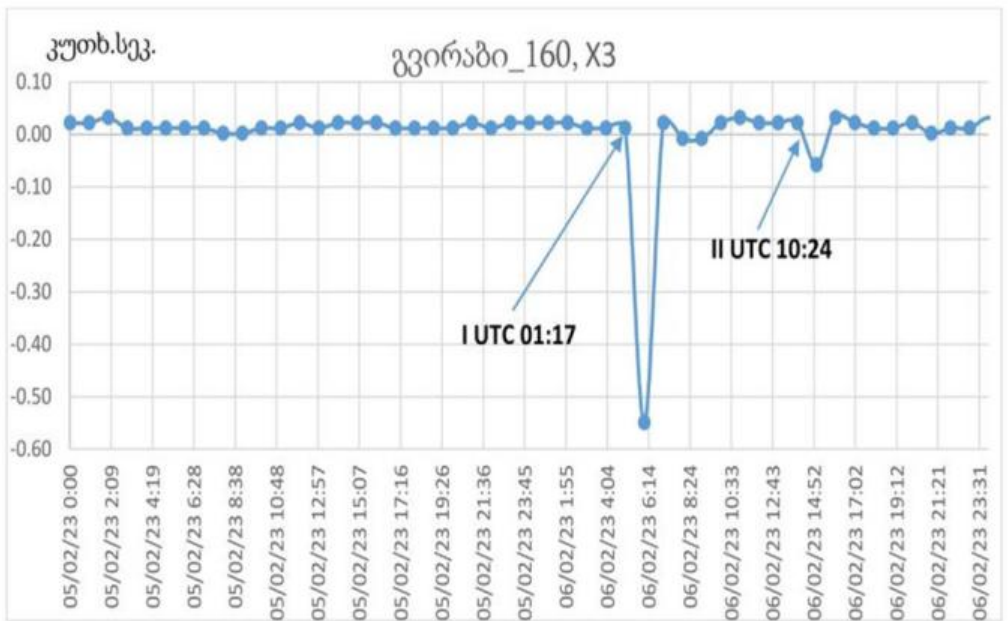
მაქსიმალური დახრები არ აღემატება 1 კუთხურ წამს, რაც ძალიან მცირე მნიშვნელობაა შენობისთვის.

დასასრულს შეგვიძლია გავაკეთოთ დასკვნა, რომ თურქეთის ძლიერ მიწისძვრას, არც კაშხალზე და არც მის მიმდებარე ტერიტორიაზე რაიმე მნიშვნელოვანი ცვლილებები არ გამოუწვევია.

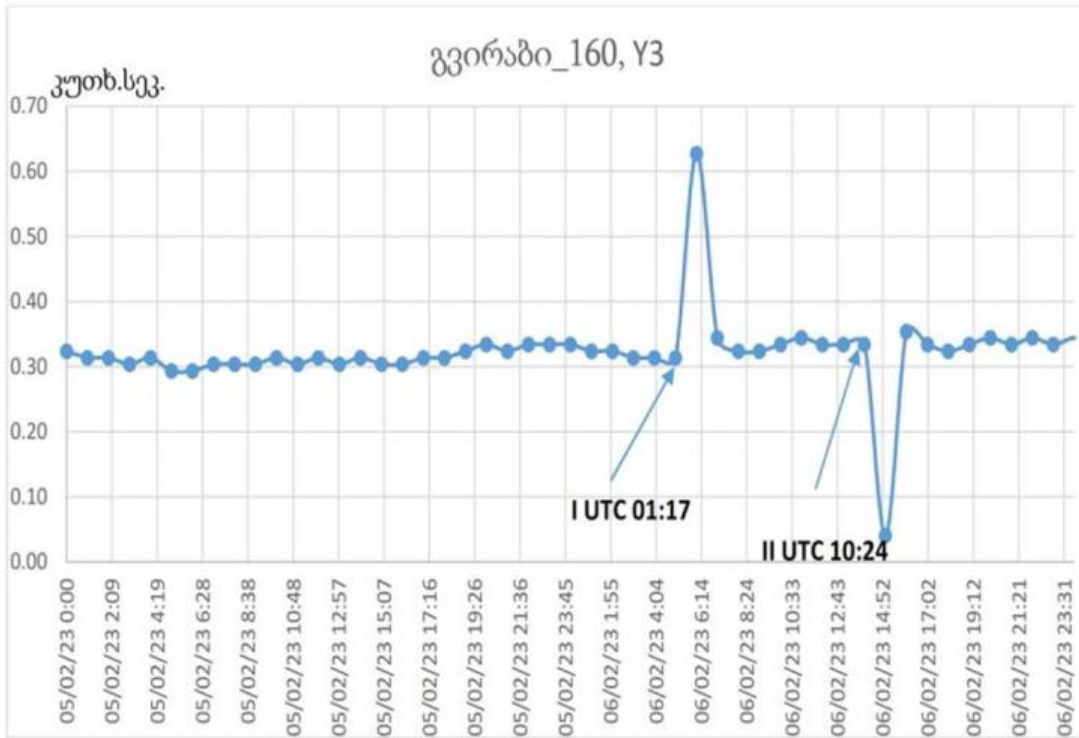
დეფორმოგრაფი



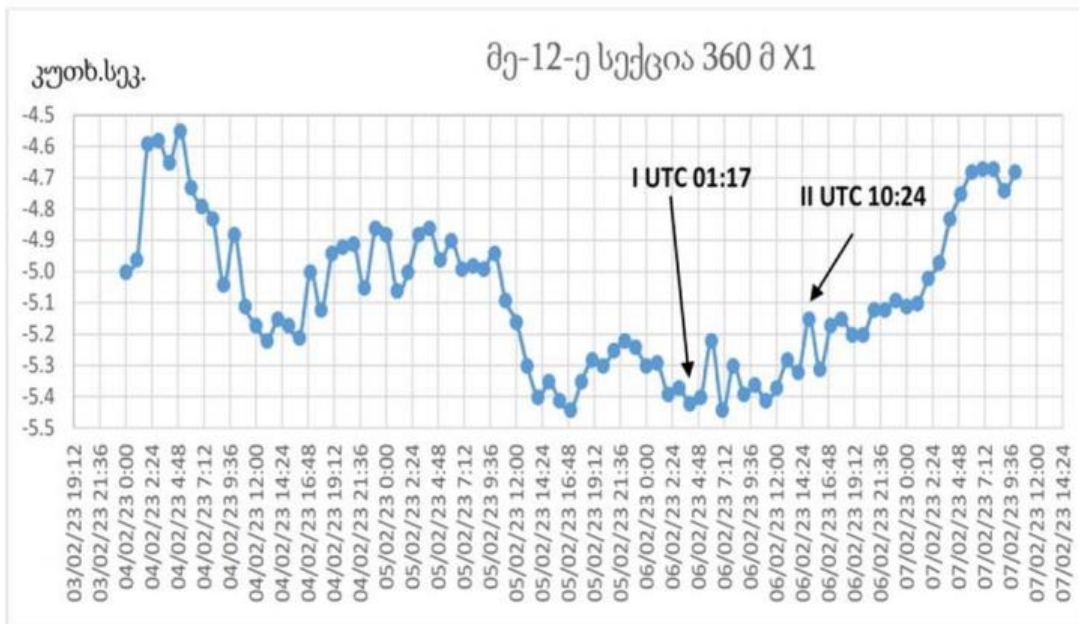
ნახ.1



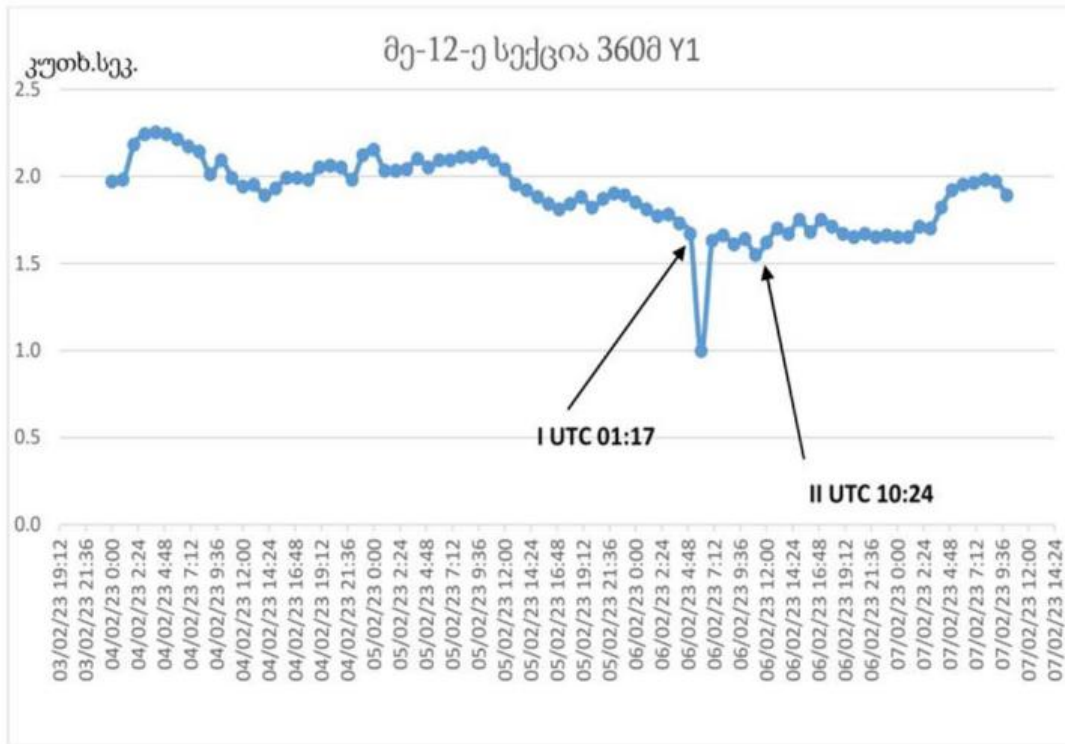
ნახ.2



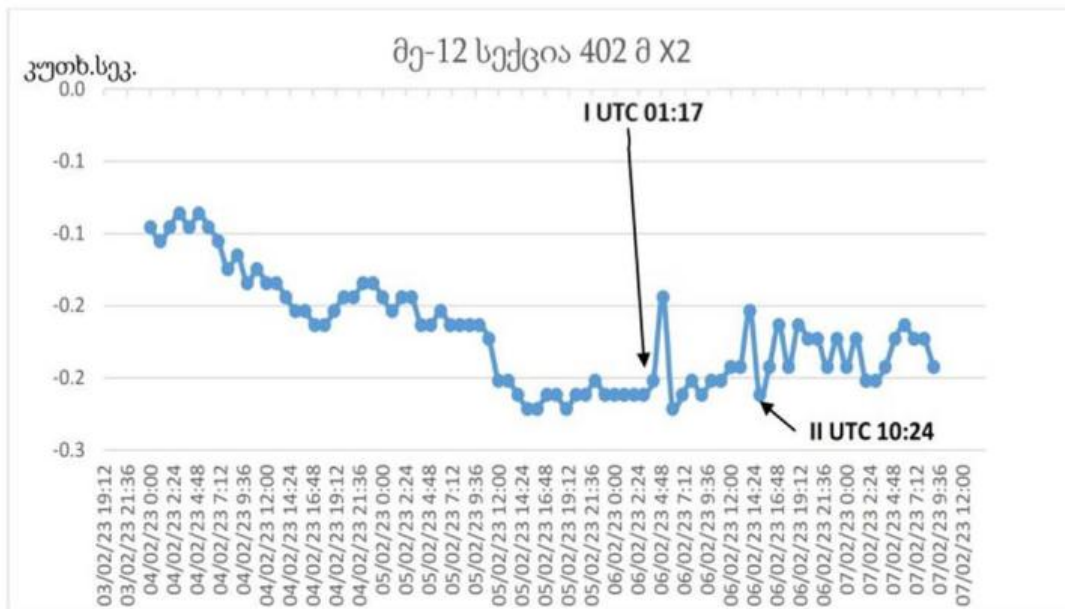
ნახ.3



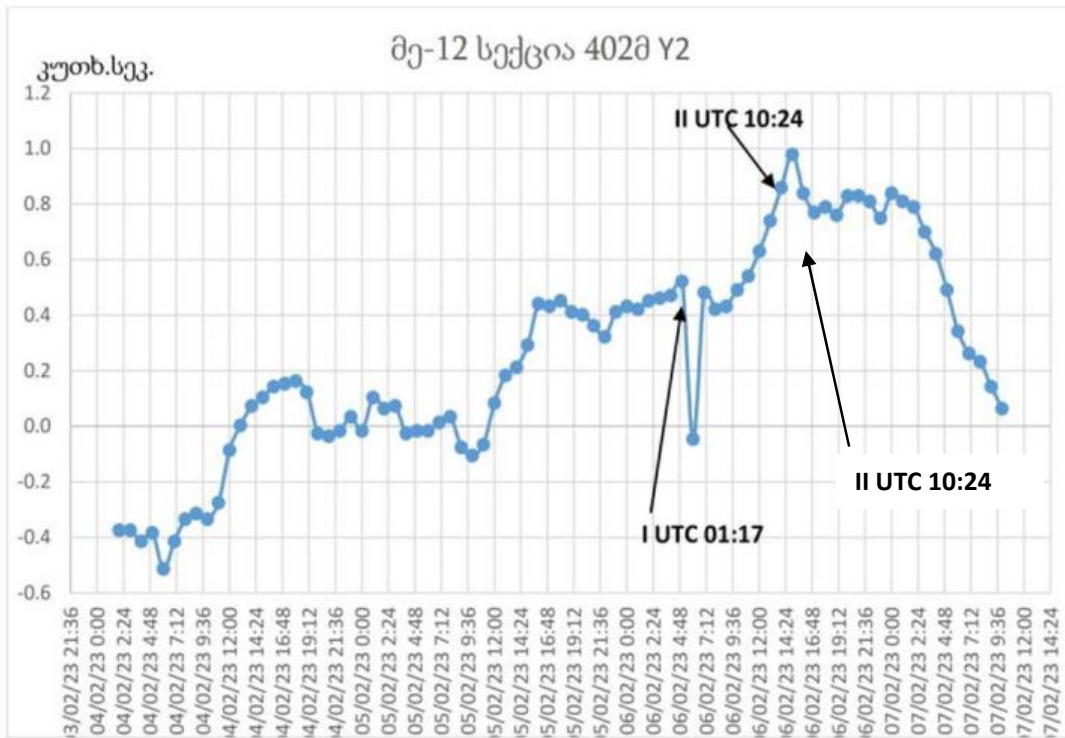
ნახ.4



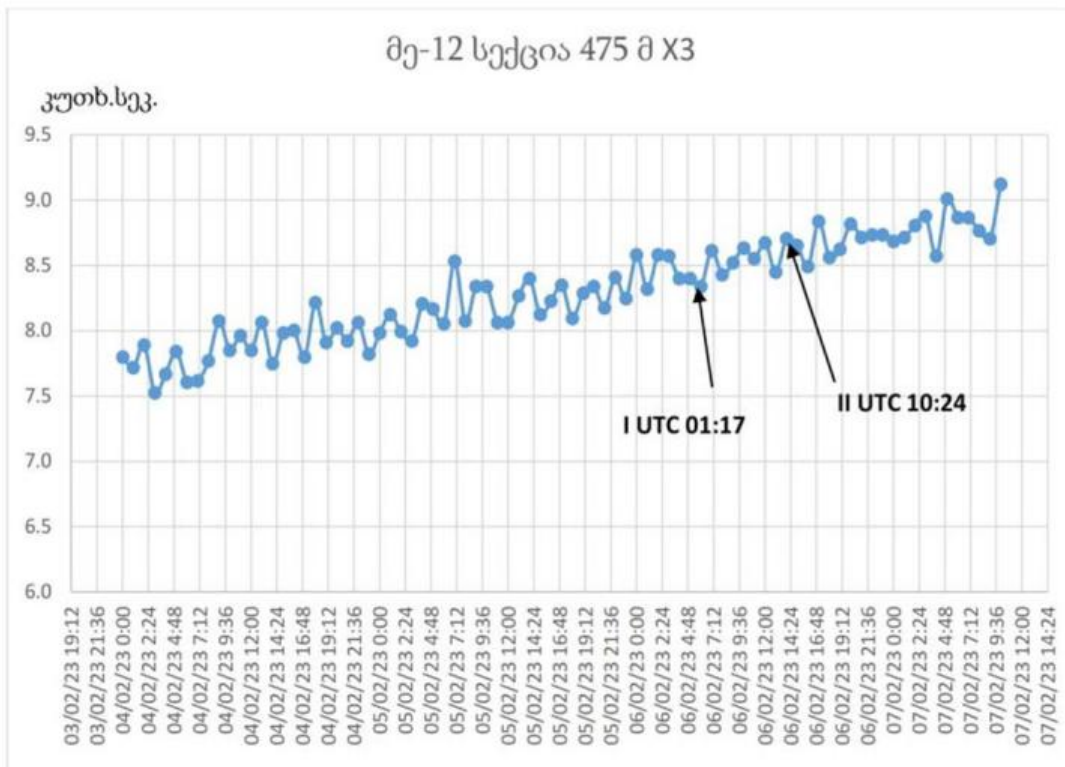
ნახ.5



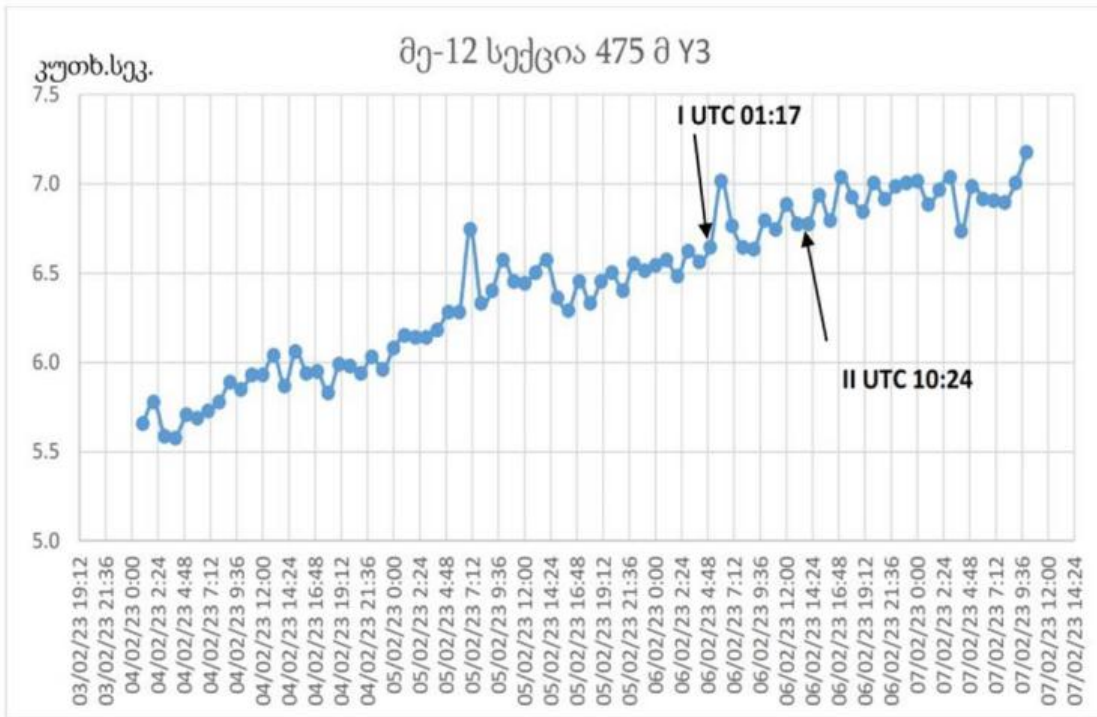
ნახ.6



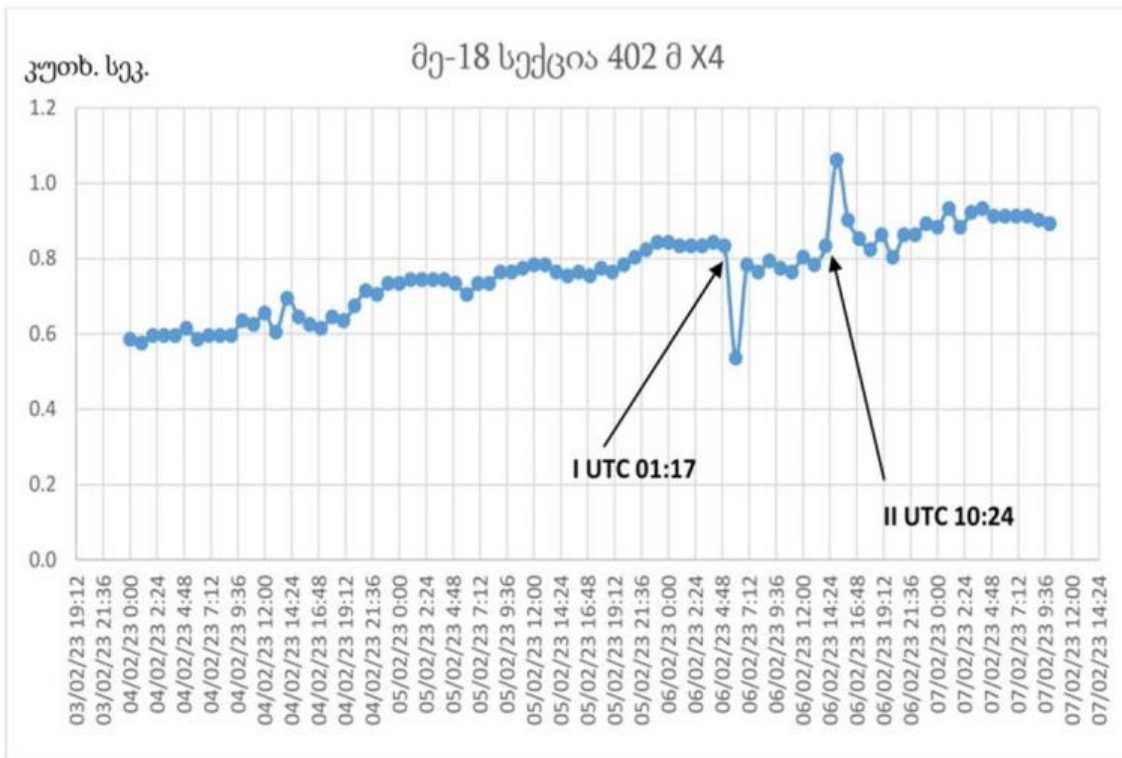
ნახ.7



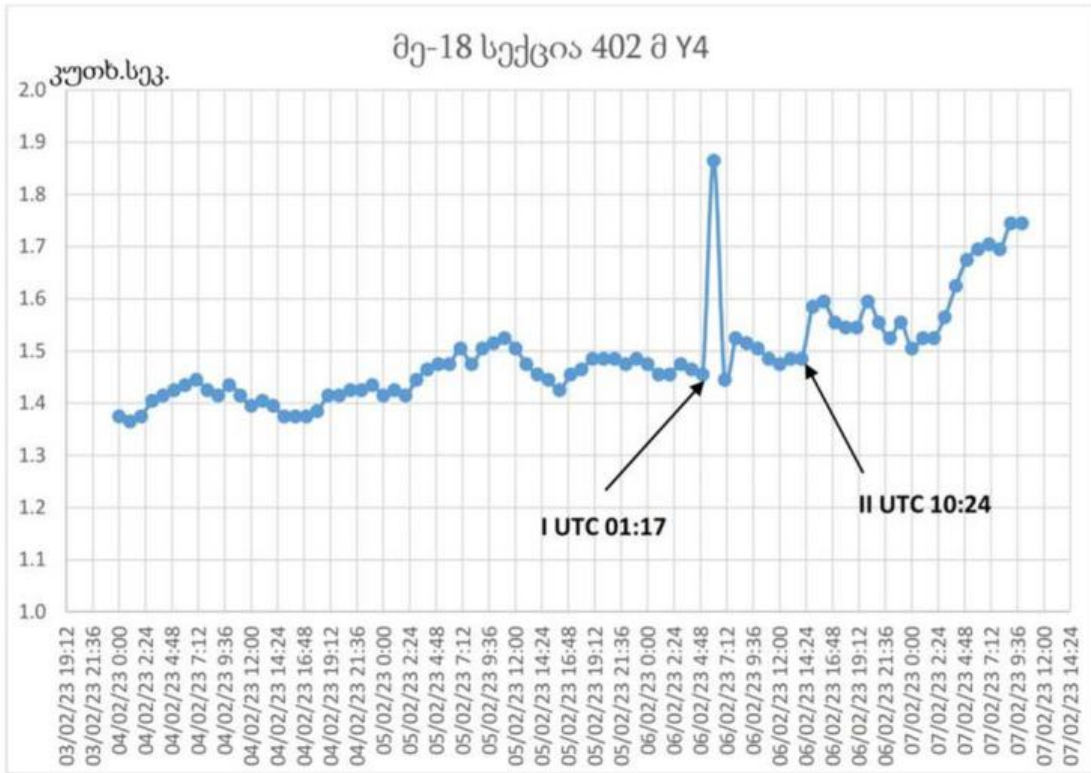
ნახ.8



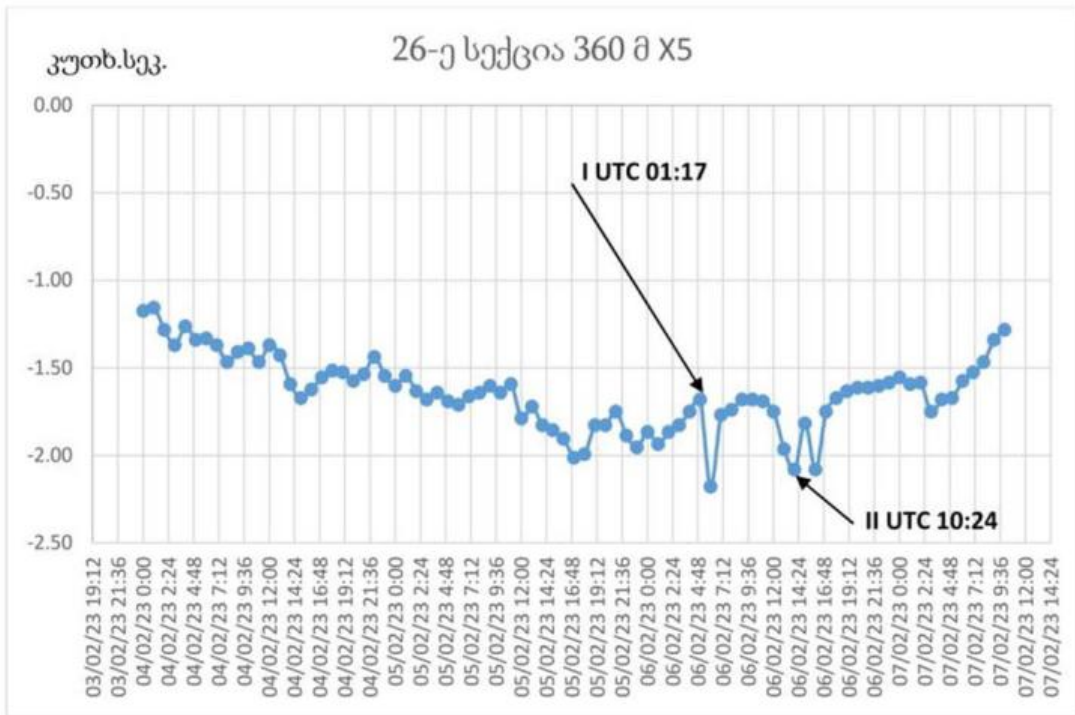
ნახ.9



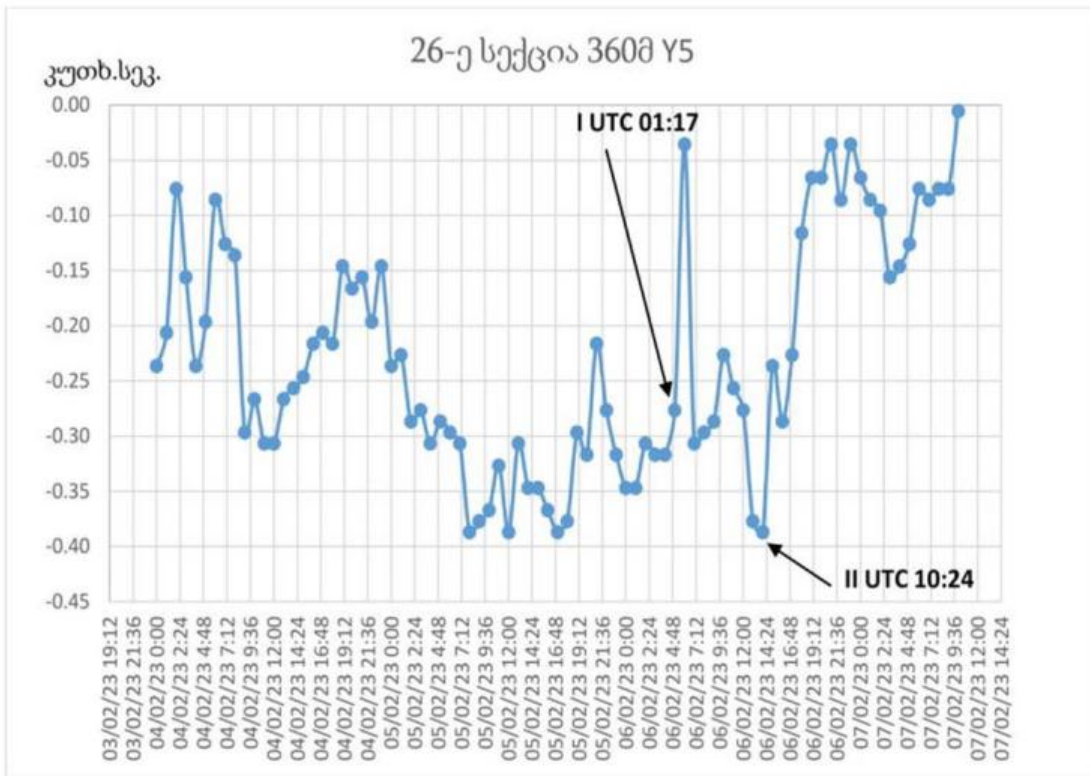
ნახ.10



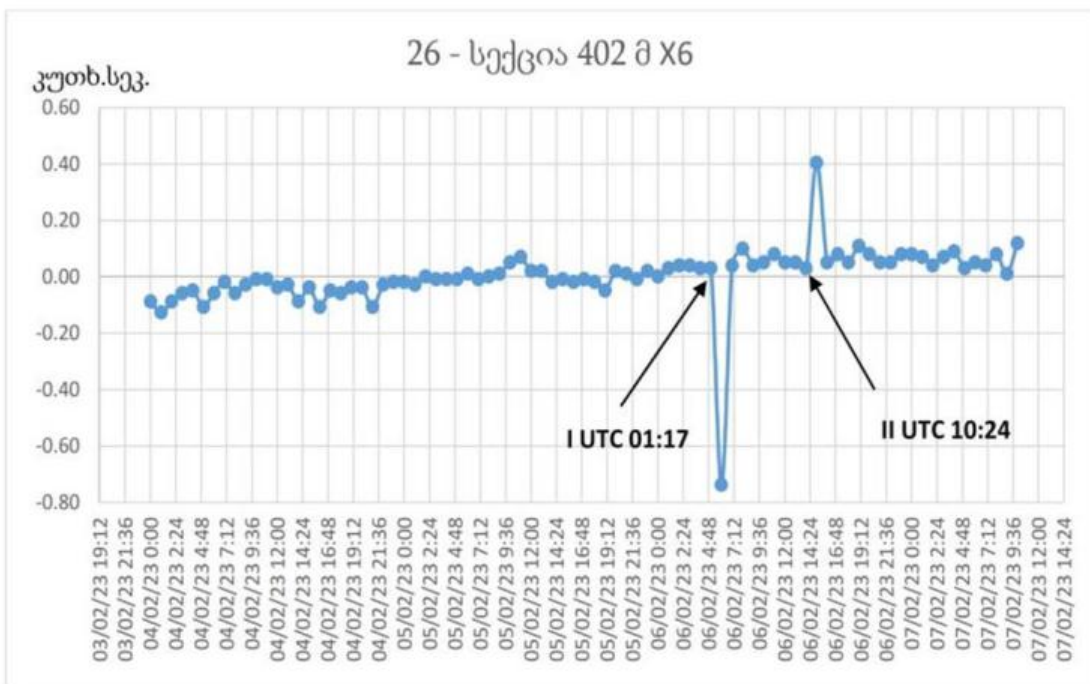
ნახ.11



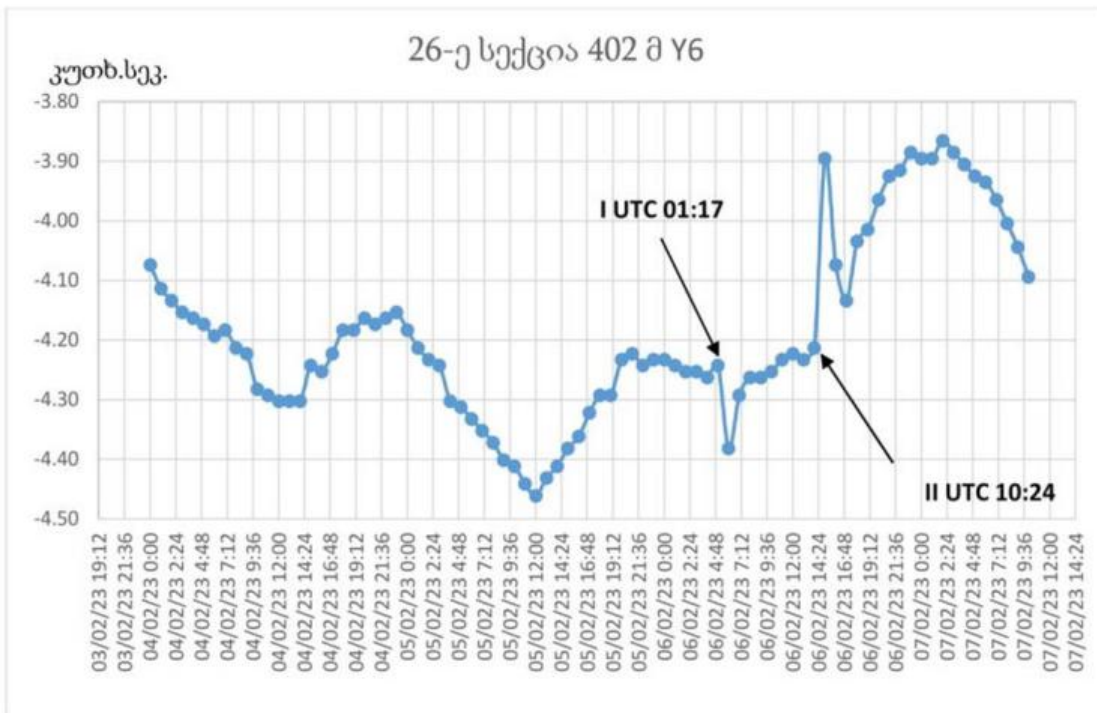
ნახ.12



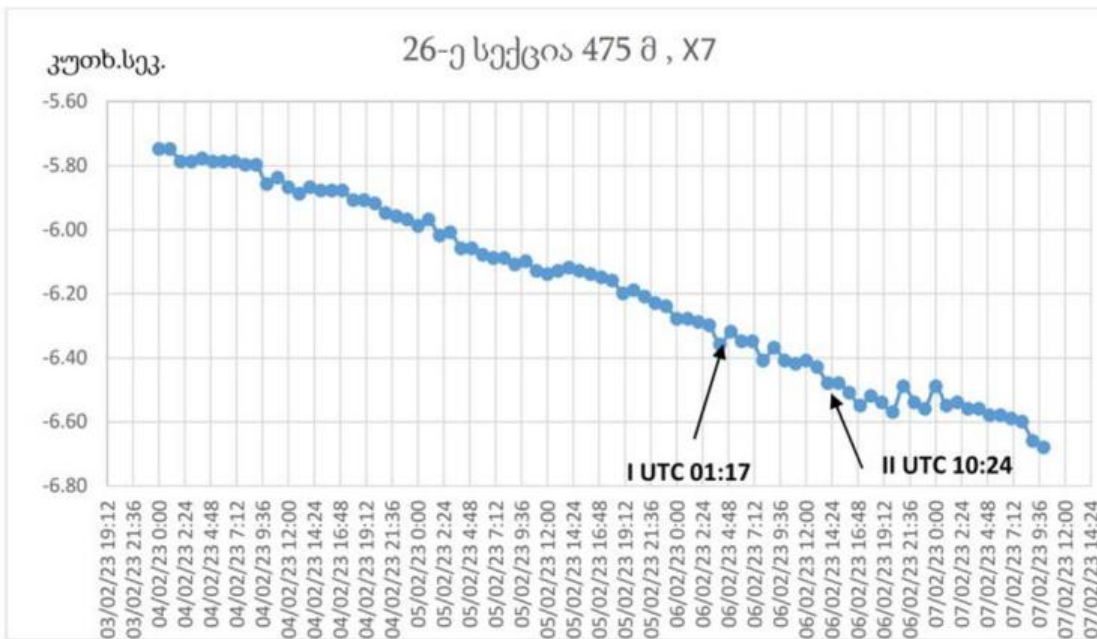
ნახ.13



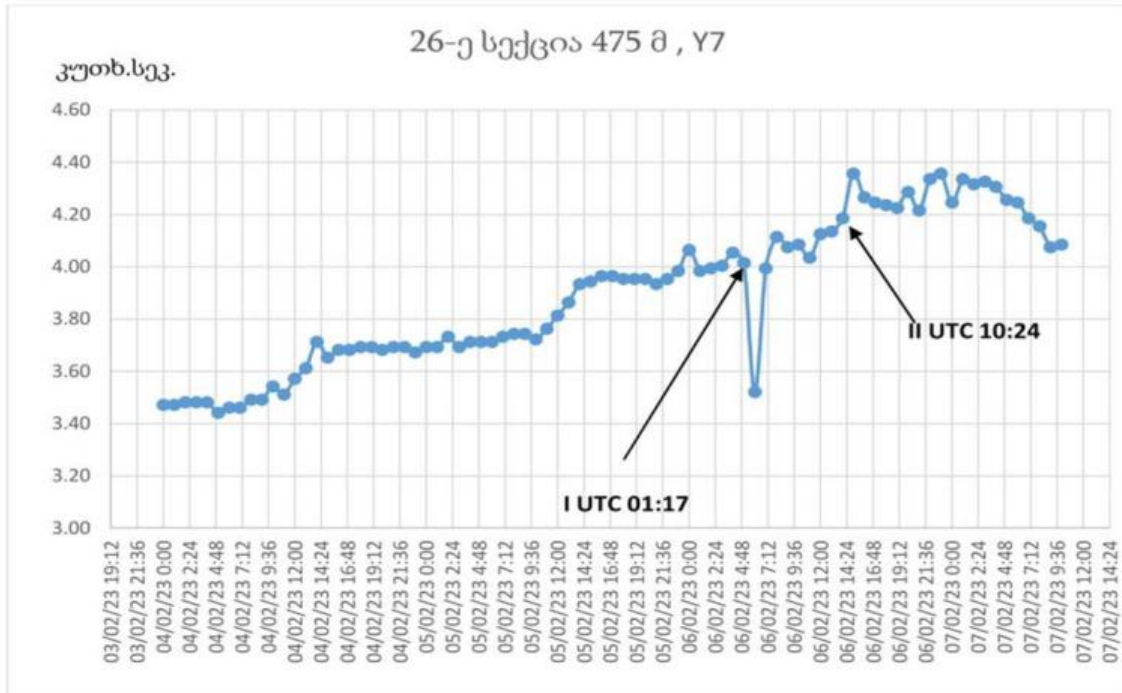
ნახ.14



ნახ.15



ნახ.16



ნახ.17

ლიტერატურა – References – Литература

- [1] აბაშიძე ვ., ჭელიძე თ., ცაგურია თ., საყვარელიძე ე., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ., ქუთელია გ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის II კორპუსის ყოფილ ფიზიკის ფაკულტეტის გეოფიზიკის კათედრის გრავიმეტრიულ ლაბორატორიაში ჩატარებული დახრის-მზომითი დაკვირვებების შედეგები. მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ტ. LXVII, 2017, გვ. 96-104.
- [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. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები ტ. LXIX, 2018.
- [3] ჭელიძე თ., ქირია ჯ., ცაგურია თ., ქირია თ., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ. ენგურჰესის კაშხლის მარჯვენა სანაპიროზე მდებარე ნაპრაღში მიმდინარე პროცესების შესწავლა ორკორდინატიანი ლაზერული ექსტენზომეტრის წინასწარი მონაცემების საფუძველზე. მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები ტ. LXX, 2019.

თურქეთის ძლიერი მიწისძვრის გავლენა ენგურჰესის თაღოვან კაშხალზე და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე

ქირია ჯ., ცაგურია თ., საყვარელიძე ე., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ., ქუთელია გ.
რეზიუმე

ენგურჰესის კაშხლის ფუძეში გადის ინჯირის ნაპრაღის განშტოება, რომელზეც წარმოებს გეოფიზიკური დაკვირვება (დეფორმოგრაფი). ნაპრაღის ბორტები მოძრაობენ ჰესში წყლის დონის ცვალებადობის დროს. ბორტების ამოძრავება ასევე შეუძლია ძლიერ მიწისძვრასაც. ნაშრომში

განხილულია 2023 წლის 6 თებერვალს მომხდარი მიწისძვრის ეფექტი ენგურჰესის კაშხლის ფუძეში მდებარე ინგირიშის ნაპრაღის განშტოებებზე.

საკვანძო სიტყვები: მიწისძვრა, რღვევა, დეფორმოგრაფი, ენგურის ჰიდროელექტროსადგური, კაშხალი.

THE IMPACT OF A STRONG EARTHQUAKE IN TURKEY ON THE ENGURHESI ARCH DAM AND ITS SURROUNDING AREA

Kiria J., Tsaguria T., Sakvarelidze E., Dovgali N., Davitashvili L., Kutelia G.

Abstract

At the base of Engurhesi dam, a branch of the Ingirish fault passes, on which a geophysical observation (deformograph) is made. The rift boards move when the water level in the HPP changes. The boards can also be moved by a strong earthquake. The paper discusses the effect of the February 6, 2023 earthquake on the branches of the Ingirish fissure located at the base of the Enguri hydroelectric station dam.

Key words: earthquake, fault, strain gauge, Enguri hydroelectric station, dam.

ВОЗДЕЙСТВИЕ СИЛЬНОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ТУРЦИИ НА АРОЧНУЮ ПЛОТИНУ ИНГУРИ ГЭС И ОКРУЖАЮЩУЮ ТЕРРИТОРИЮ

Кириа Дж., Цагурия Т., Сакварелидзе Е., Довгаль Н., Давиташвили Л., Кутелия Г.

Реферат

В основании плотины Ингури ГЭС проходит ветвь Ингиришского разлома, на котором производятся геофизические наблюдения (деформограф). Рифтовые плиты перемещаются при изменении уровня воды в ГЭС. Плиты также могут сдвинуться при сильном землетрясении. В статье рассматривается влияние землетрясения 6 февраля 2023 г. на рукава Ингиришской трещины, расположенные в основании плотины Ингури ГЭС.

Ключевые слова: землетрясение, разлом, деформограф, Ингури ГЭС, плотина.

გეორადიოლოკაციური მეთოდით ცილინდრული ფორმის სამშენებლო კონსტრუქციების დაფარული ნაწილების დადრმავეების განსაზღვრა

ოდილავაძე დ., იავოლოვსკაია ო.

*ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
მ. ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი*

სამთო საქმესა და მშენებლობაში სხვადასხვა საჭიროების ინტერესიდან გამომდინარე, მაგ. სამშენებლო ზედამხედველობა, დამკვეთის ინტერესი აშენებული ან მშენებარე ობიექტის პროექტთან შესაბამისობა. ამასთან დაკავშირებით, საინჟინრო-გეოფიზიკური კვლევითი მოქმედებების თვალსაზრისით, მნიშვნელოვანია დადგინდეს არაინვაზიურად ფუნდამენტის ისეთი განსაკუთრებული ელემენტის განთავსების პარამეტრები, როგორც არის ხიმინჯი და მისი დადრმავეების შესაბამისობა საპროექტო პარამეტრებთან მიმართებაში.

გეოფიზიკური მეთოდებიდან, ქვეზედაპირული კვლევისთვის ეფექტური და არაინვაზიური მეთოდია გეორადიოლოკაცია, როლითაც შესაძლებელია დადგინდეს მიწისქვეშა განთავსების ობიექტების არსებობა, ლოკაცია და გვარობა, განთავსების გარემოს დაზიანების გარეშე, მათი რადიოსახის მიხედვით. გეორადიოლოკაციურ მეთოდს საფუძვლად უდევს ელექტრომაგნიტური ველის თეორია [1, 2] და მისი გამოყენებები დედამიწის ფიზიკის კვლევისთვის [3, 4].

მეთოდურ-ინსტრუმენტული ნაწილი

გეორადარის და შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფით მიღებულ-დამუშავებულ რადაროგრამაზე ინტერპრეტაციის შედეგად გამოიყოფა საკვლევი ობიექტის რადიოსახე. ძირითადი ნიშანი ხიმინჯის რადიოსახის არსებობისა მეტად ნაკლები ერთგვაროვანი სინფაზურობის ღერძებისგან ჩამოყალიბებული ვერტიკალურად შემოსაზღვრული ტექსტურის დაფიქსირებაა. მისი ფუძე შესაძლებელია წარმოადგენდეს ჩალუნვით დეფორმირებულ გრუნტოვან საყრდენს გაფართოებით ან მის გარეშე, შესაძლოა ხიმინჯის გაშლადი მეტალური კონსტრუქციების, ტერფის დაფიქსირება. განსხვავდება რადიოსახე ხიმინჯების ტიპისა და კონსტრუქციული განთავსების მიხედვით. ისეთი როგორიცაა ცალკეული ხიმინჯები (საყრდენების ქვეშ), ხიმინჯების რიგი (კედლების ქვეშ), ბუჩქური ხიმინჯები (კოლონების ქვეშ).

ხიმინჯების დადრმავეების გამოსაკვლევად შენობების ცოკოლურ სართულებსა და/ან საფარეხ ტერიტორიაზე მშენებარე ობიექტების სხვადასხვა ტიპისთვის, ცალკეული ხიმინჯები (საყრდენების ქვეშ), ბუჩქური ხიმინჯები (კოლონების ქვეშ), სავარაუდო სიღრმის

ხიმინჯების დაღრმავების დასაფიქსირებლად გამოყენებულ იქნა გეორადიოლოკაციური პროფილირების მეთოდი.

გეორადიოლოკაციური სამუშაოები ტარდებოდა გეორადარ „Zond 12-e“, სამტატო ეკრანირებული ანტენებით 500MHz, 300MHz, 100MHz დამუშავება განხორციელდა „Prizm2.7“ სამტატო პროგრამული უზრუნველყოფით. გეორადარის შერჩეული ანტენები გამოირჩევიან გამოსხივებული ტალღის სიგრძით იმ ფარგლებში, რომლებიც უზრუნველყოფენ ხიმინჯების განის მიხედვით დიფრაქციული მოვლენის არსებობას და ეს ხდება მაშინ, როდესაც რადარული ანტენიდან გამოსხივებული ტალღის სიგრძე თანაზომადია ან მეტია სამიზნე ობიექტის გომეტრიული მახასიათებელი ზომისა. ანტენების კონსტრუქციული აგებულებიდან გამომდინარე უზრუნველყოფილია ზეფართოზოლოვანი გამოსხივება, რაც მნიშვნელოვან ნაწილად ფარავს ხიმინჯოვანი ტიპის ობიექტის დაფიქსირებისათვის საჭირო სიხშირულ ინტერვალს. არმირებული ხიმინჯები შედგებიან, როგორც დიელექტრიკისგან, მაგ. ბეტონი, ასევე გამტარი არმატურისგან, რომლებიც განსხვავებულად გამოავლენენ თავს ელექტრომაგნიტურ ველში. ამდენად, არსებობენ ხიმინჯზე დაცემული ტალღები, არეკვლილ/გაბნეული ტალღები გარდატეხილი ტალღები. მათი ერთობლიობა ქმნის ხიმინჯის გეორადიოლოკაციურ სახეს ანუ რადიოსახეს რადაროგრამაზე.

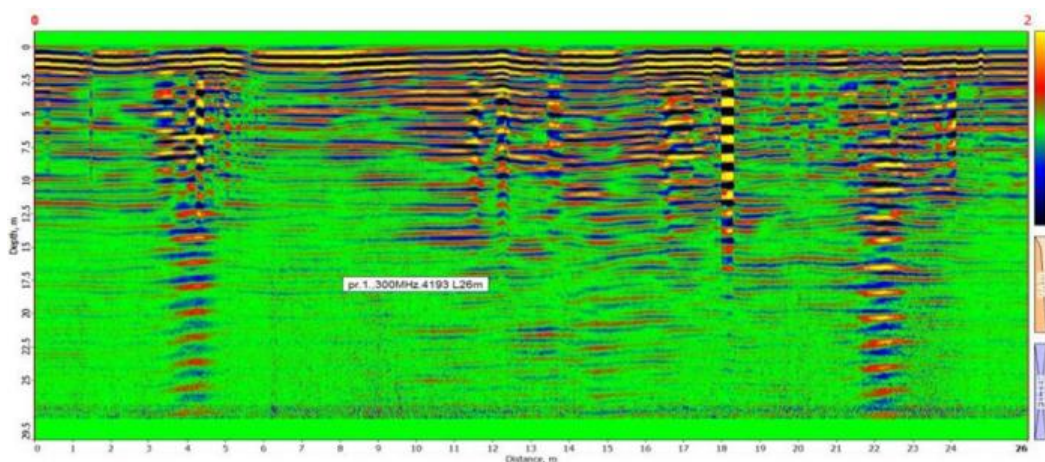
ამოცანა: დადგინდეს ხიმინჯის არსებობა, მისი დაღრმავება, ტიპი.

შედეგები და დისკუსია

მოგვყავს რიგი მაგალითებისა, რომლებიც დასმული ამოცანის გადაწყვეტის შესაძლებლობის ილუსტრაციას იძლევიან.

მშენებარე ობიექტის ცოკოლური სართულის ტერიტორიაზე შესრულდა გეორადიოლოკაციური კვლევა ხიმინჯების რადიოლოკაციური სახეების მდებარეობისა და მათი დაღრმავების სიდიდის შესაფასებლად.

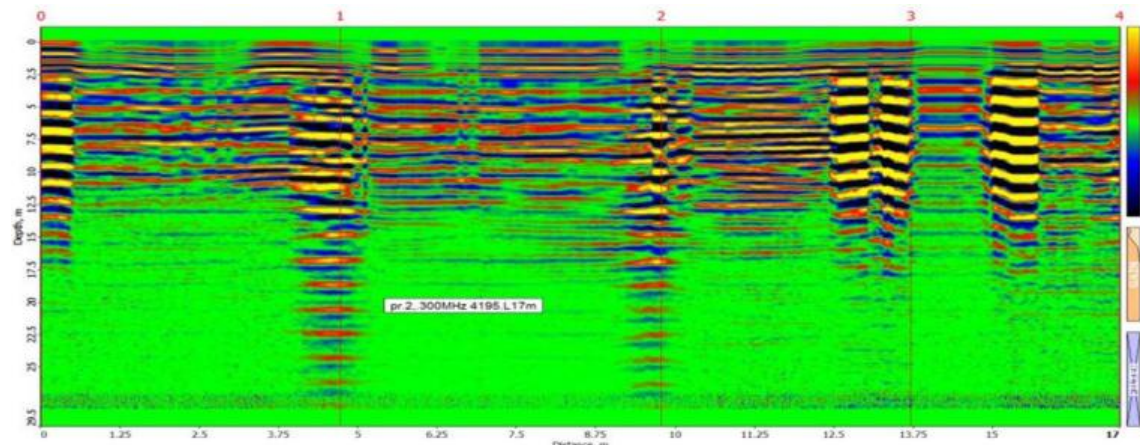
გატარდა და ჩაიწერა გეოლოკაციური პროფილი გეორადარ Zond 12-e, პროგრამული უზრუნველყოფით Prizm-2.7, სამტატო 300მჰც და 500მჰც ეკრანირებული გეორადარული ანტენების გამოყენებით. მაგალითისთვის, საილუსტრაციოდ მოტანილია პროფილები ნახ.1, 2 რადაროგრამებიდან და მათი ინტერპრეტაციის შედეგები. პროფილი ჩაწერილია ხიმინჯზე აშენებული საყრდენი კოლონის უშუალო სიახლოვეში პროფილის გატარებისას.



ნახ.1. პროფ-1 ის დისტანციებზე 4მ, 22.5მ არის ხიმინჯების ელემენტების რადიოსახეების განლაგება. პროფილის სიგრძეა-26მ.

რადაროგრამაზე ძირითადად ბუჩქის ტიპის ხიმინჯები იკვეთება, არის მონოლითის ტიპის ხიმინჯი 18.2მ დისტანციაზე, რომლის რადიოსახე გამოირჩევა მეტი ერთგვარონებით. ხიმინჯების დაღრმავება მოინიშნება დაახლოებით 12.5-17.5მ. ასევე ფიქსირდება 12-14მ დისტანციებზე 12მ დაღრმავების ხიმინჯ-ჩანართები.

ჩატარებული გეორადიოლოკაციური სამუშაოების ინტერპრეტაციის შედეგად შეიძლება დავასკვნათ, რომ ხიმინჯების დაღრმავება მდებარეობს ინტერვალში დაახლოებით 13-15მ-17მ, მოინიშნა, როგორც ბუჩქის ტიპის ხიმინჯები ასევე ცალკეული გეოლოგიური ბურღილები. ხიმინჯების დაღრმავება შემოისაზღვრება ფუძის მდებარეობით, ანუ იმ ბოლო მკაფიოდ გამოკვეთილი სინფაზურობის ღერძის მონაკვრთის დაფიქსირებით, რომლის შემდეგ რადიოსახეს ახასიათებს მიღევადი ე.წ. „რეკვა“, რაც შეესაბამება ობიექტის მდებარეობის შეწყვეტას, ანუ აღარ არსებობენ ობიექტიდან არეკვლი რადიოტალღები ქვედა მხარეს, მაგრამ არსებობს არმირებისმიერი მეორადი, მიღევადი გამოსხივება.



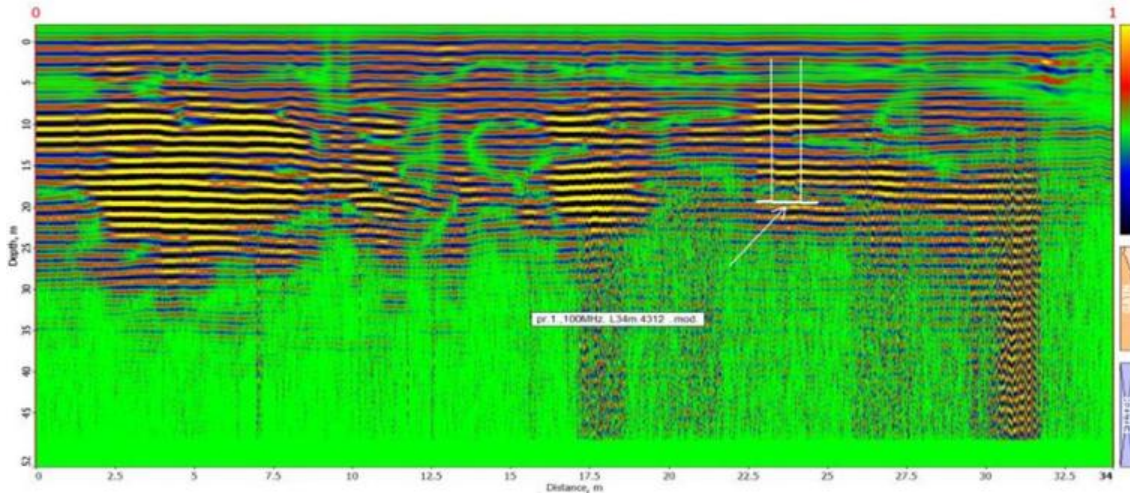
ნახ.2. პროფ-2-სთვის ხიმინჯების რადიოსახეები მოინიშნა დისტანციებზე: 0.5მ, 4.5მ, 6.5მ, 10მ, 13მ, 16მ. დაღრმავება საშუალოდ 13-15მ-17მ. პროფილის სიგრძეა-17მ.

მოინიშნა კოლონების საყრდენი ხიმინჯების, როგორც ფუნდამენტის ელემენტების ლოკაცია. საყრდენი ელემენტები კონსტრუქციულად წრიულად განტოტვილნი არიან, რის შედეგადაც წარმოადგენენ ელექტრომაგნიტური რადარული გამოსხივებული ტალღისთვის ამრეკლავ, მეორადი გამოსხივების წყაროს. რადიოსახის ბოლო, ოვალისებური ან არასრული ოვალისებური ნაწილი აფიქსირებს ბუჩქისებრი ხიმინჯის ფუძის ლოკაციას.

აშენებული კორპუსის ცოკოლური სართულის, საგარაჟე ტერიტორიაზე, წინასწარ მონიშნული საყრდენი კოლონის ქვეშ მდებარე, სავარაუდო ხიმინჯის დაღრმავების გამოკვლევა.

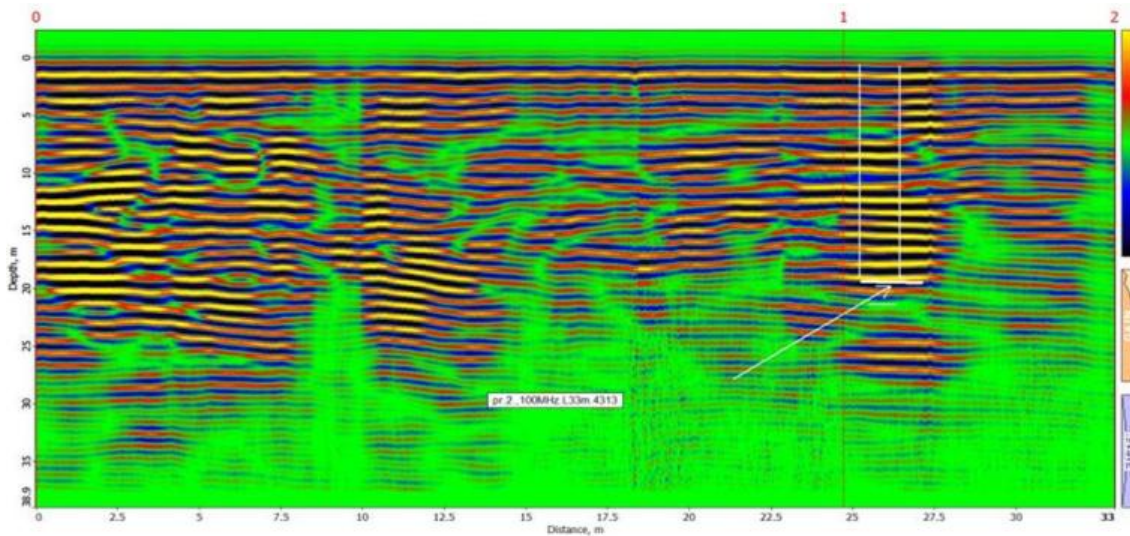
გეორადარის საშუალებით, სავარაუდო კოლონა-ხიმინჯთან გატარდა ორი პროფილი, 100 მჰც სიხშირის რადარული მიმღებ-გადამცემი ეკრანირებული ანტენებით შესრულებული.

ნახ. 3 მკაფიოდ გამოიკვეთა ხიმინჯის მდებარეობა მახასიათებელი ბუჩქის ტიპის ხიმინჯის ფუძის გამოვლინებით, ფუძის მდებარეობა შეესაბამება 20 მ. დისტანციაზე, დაახლოებით 23-24 მ.



ნახ. 3. წარმოდგენილია რადაროგრამა პროფ.1, საკვლევი ხიმინჯის მდებარეობა განისაზღვრა და მოინიშნა თერთი წირითა და ისრით, რადიოსახის მიხედვით. პროფილის სიგრძეა 34მ. ანტენის გამოსხივებული ტალღის ცენტრალური სიხშირეა-100 მჰც.

პროფ-2 (ნახ.4) გარს უვლის კოლონას შიდა მხრიდან, მოინიშნა მკაფიოდ გამოხატული რადიოსახე, რომლის ქვედა ნაწილი შეესაბამება ხიმინჯის ფუძის მდებარეობას, დაღრმავებით 20 მ.



ნახ.4. წარმოდგენილია რადაროგრამა პროფ.2, საკვლევი ხიმინჯის მდებარეობა განისაზღვრა და მოინიშნა თეთრი წირითა და ისრით, რადიოსახის მიხედვით. პროფილის სიგრძე 33მ, ანტენის გამოსხივებული ტალღის ცენტრალური სიხშირეა-100მჰც.

საკვლევი ხიმინჯი „ბუჭის“ ტიპისაა, მდებარეობს პროფილის შესაბამის დისტანციაზე, ხოლო მისი დაღრმავება შეესაბამება 20 მ.

ხიმინჯის რადიოსახე წარმოადგენს მატ-ნაკლებად ერთგვაროვნად დიფრაგირებულ სინფაზურობის ღერძთა მონაკვეთების ვერტიკალურად განლაგებულ ერთობლიობას, რომლებიც შედგებიან ორი ძირითადი ნაწილისგან. პირველი ნაწილი საკუთრივ ხიმინჯის შესაბამისი, ანუ რეალური დაღრმავების მქონე ობიექტ-ხიმინჯის სხეული და მეორე – ფუ-

ძის შემდგომი სინფაზურობის ღერძის ფორმა. უნდა ითქვას, რომ განხილული რადიოსახე წარმოადგენს ელექტრო მაგნიტური ველების სუპერპოზიციას დაცემული, არეკვილილ/გაბნეული და გარდატეხილი ტალღებისთვის, რომლებიც არსებობენ ხიმინჯის სხეულში და გამოყოფენ მას გარემოსგან.

მაშასადამე, ხიმინჯის რადიოსახის მიხედვით შესაძლებელია დადგინდეს ხიმინჯის არსებობა, მისი დაღრმავება და შესაძლო ტიპი.

ლიტერატურა – References – Литература

- [1] Nikolskij V. Theory of Electromagnetic Field. Moscow, 1961, p. 372 (in Russian).
- [2] Nikolskij V., Nikolskaya T. Electrodynamics and Propagation of Radio Waves. Moscow, “Nauka”, 1989, p.273 (in Russian).
- [3] Vladov M., Starovojtov A. Introduction to GPR. Moscow, MSU, 2004, p. 153 (in Russian).
- [4] Odilavadze D.T., Chelidze T.L. Geophysical modeling of the georadiolocation field in direct and inverse tasks of electrodynamics. Geophysical Journal, V.35, №4, 2013, pp.154-160 (in Russian).

გეორადიოლოკაციური მეთოდით ცილინდრული ფორმის სამშენებლო კონსტრუქციების დაფარული ნაწილების დაღრმავების განსაზღვრა

ოდილავაძე დ., იავოლოვსკაია ო.

რეზიუმე

სამთო საქმესა და მშენებლობაში სხვადასხვა საჭიროების ინტერესიდან გამომდინარე, საინჟინრო-გეოფიზიკური კვლევითი მოქმედებების თვალსაზრისით, მნიშვნელოვანია არაინვაზიურად დადგინდეს, ფუნდამენტის ისეთი განსაკუთრებული ელემენტის განთავსების პარამეტრები, როგორც არის ხიმინჯი და მისი დაღრმავების შესაბამისობა საპროექტო პარამეტრებთან მიმართებაში.

ზედაპირული კვლევისთვის ეფექტური და არაინვაზიური მეთოდია გეორადიოლოკაცია. საილუსტრაციოდ მოტანილი რეალური გეორადიოლოკაციური პროფილებისთვის (გეორადარი Zond12-e, soft Prizm-2.7) შესაძლებელია დადგინდეს მათი რადიოსახის მიხედვით მიწისქვეშა განთავსების ობიექტების არსებობა, ლოკაცია და გვარობა.

საკვანძო სიტყვები: საინჟინრო გეოფიზიკა, გეორადარი, სამირკვლის ელემენტები.

DETERMINING THE DEPTH OF PILE STRUCTURES BY GEORADAR

Odilavadze D., Yavolovskaya O.

Abstract

Due to the interest of various needs in mining and construction, from the point of view of engineering and geophysical research, it is important to determine in a non-invasive way the parameters for the placement of such a special foundation element as piles and the compliance of its depth with the design parameters.

Georadiolocation is an effective and non-invasive method of exploring the subsoil. For the real ground penetrating radar profiles given for illustration ((Zond 12-e ground penetrating radar, soft Prizm-2.7), the presence, location and type of underground pile objects can be determined by their radio image.

Key words: engineering geophysics, georadar, foundation elements.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАГЛУБЛЕНИЯ СВАЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Одилавадзе Д., Яволовская О.

Реферат

В связи с заинтересованностью различных нужд в горном деле и строительстве, с точки зрения инженерно-геофизических исследований, важно определить неинвазивным способом параметры размещения такого специального элемента фундамента, как сваи и соответствие их заглубления проектным параметрам.

Георадиолокация – эффективный и неинвазивный метод исследования недр. Для приведенных для иллюстрации реальных георадиолокационных профилей (георадар Zond 12-e, soft Prizm- 2.7) можно определить наличие, местоположение и тип подземных объектов-свай по их радиообразу.

Ключевые слова: инженерная геофизика, георадар, элементы фундамента.

**დიელექტრიკულ გარემოში განთავსებული განსხვავებული
დიელექტრიკული შემავსებლებით აგებული
ცილინდრული სხეულების გეორადიოლოკაციური
სახეები და მათი იდენტიფიცირება ობიექტებთან**

ოდიავაძე დ., ჭელიძე თ., იავოლოვსკაია ო.

თსუ, მ.ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

სამთო, გეოტექნიკური, სპელეოლოგიური, არქეოლოგიური, სპეციფიკური და სხვა ინტერესებისათვის მნიშვნელოვანია მიწისქვეშა სივრცეების გამოკვლევა ნაწილობრივ წყალ და ჰაერშემცველობის შემავსებლებით ერთგვაროვან გარემოში განთავსებისას. თსუ, გეოფიზიკის ინსტიტუტის გამოყენებითი და ექსპერიმენტალური გეოფიზიკის სექტორში ჩატარდა გეორადიოლოკაციური ფიზიკური მოდელების კვლევა ჰორიზონტალურად განთავსებული ცილინდრული მოდელებისთვის. მოდელები შეიცავენ წყლით, ჰაერით და ნაწილობრივად წყალ-ჰაერით შევსებულ ცილინდრული ზედაპირით შემოფარგლულ სივრცეებს. გეორადიოლოკაციური (გეორადარი Zond12-e, სოფტი-Prizm2.6) პროფილური კვლევა განხორციელდა მოდელების ჰორიზონტალურად განთავსების სიბრტყის მიმართ დღიურ ზედაპირისა და დღიური ზედაპირის მიმართ მართობულ სიბრტყეებში. მიღებული შედეგების მიხედვით იდენტიფიცირდა და დაფიქსირდა შესაბამისი რადიოსახეები და მათი ბუნებრივ პირობებში განთავსებისას სიხშირული და გეომეტრიული შესაბამისობები.

შესავალი

სამთო-სამაშველო მიწისქვეშა ჩაკეტილ სივრცეში არსებული გარემოს ჰაერ-წყალ შემცველობა, გეოტექნიკური მიწისქვეშა საკაბელო, კაბელ გამტარი კონსტრუქციების მდგომარეობა, სანიაღვრო წყალგამტარების შევსებულობა, არქეოლოგიური სიღრმული სივრცეების ინვაზიური კვლევისთვის, დაცული ტერიტორიების სიღრმული უსაფრთხოების საჭიროებისთვის, დღიური ზედაპირიდან სპელეოლოგიური კვლევებისათვის, მნიშვნელოვანია მიწისქვეშა განთავსების ობიექტების რთული დიელექტრიკული შედგენილობის შესწავლა.

კარსტული გარემოს კვლევისას მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია ჰაერისა და წყლის შემცველი სივრცეების, სუფოზიების, სიფონების შესაძლო გამოვლენა-დაფიქსირება გეოგრაფიულ-სპელეოლოგიური და გეოფიზიკური მეთოდებით [1]. მიუხედავად ისეთი მეთოდების განვითარებისა, როგორცაა გეორადიოლოკაცია, ელექტრომეტრია, სეისმომეტრია, მნიშვნელოვან სიძნელეს წარმოადგენს ნაწილობრივ წყალშემცველი სივრცის შესაძლო გამოყოფა, ლოკაცია და ინტერპრეტაცია. გეორადიოლოკაციური ელექტრომაგნიტური ვე-

ლების ფიზიკური მოდელირების მეთოდით შესაძლებელი აღმოჩნდა ელექტროდინამიკის რიგი პირდაპირი ამოცანების წარმატებით გადაწყვეტა [2].

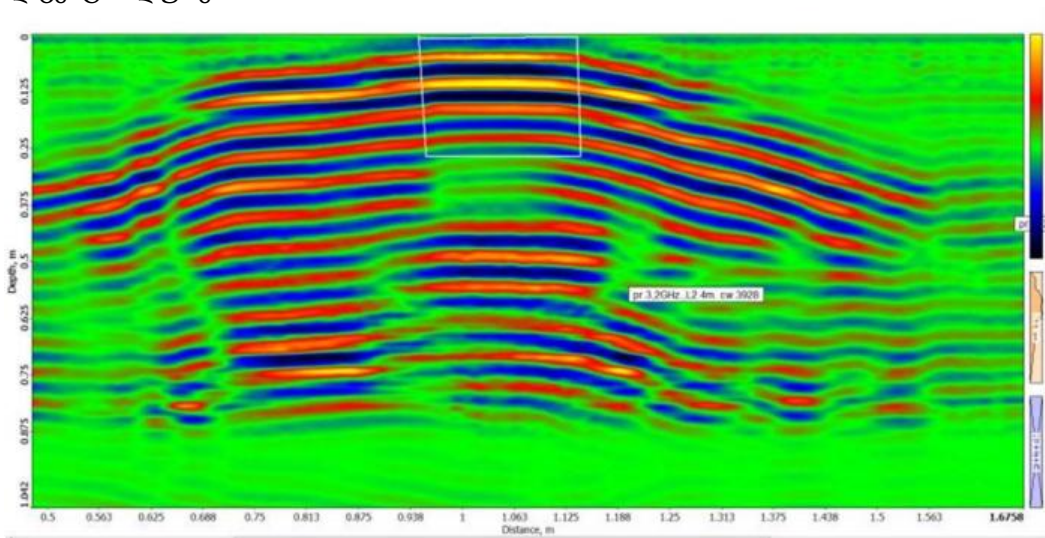
ინსტრუმენტული და მეთოდური ნაწილი

თსუ, გეოფიზიკის ინსტიტუტის გამოყენებითი და ექსპერიმენტალური გეოფიზიკის სექტორის, გეორადიოლოკაციისა და ელექტრომეტრიის ლაბორატორიის, ელექტრომაგნიტური ველების ფიზიკური მოდელირების მყარი ერთგვაროვანი გარემოს, გაბარიტებით 1.5x1.5x2.4მ, მოდელირების დანადგარზე, გამოკვლეული იქნა სრულად წყალშემცველი, ნახევრად წყალშემცველი და მთლიანად ჰაერშემცველი ჰორიზონტალური პოლიეთილენის ცილინდრის (კედლის სისქე 0.2-0.4მმ, დიამეტრი-0.17მ, ღერძი-0.3მ) მოდელი განთავსებული ერთგვაროვან სილოვან გარემოში ჰორიზონტალურად და ღერძით გეორადიოლოკაციური პროფილების მართობულად. გეორადიოლოკაციური პროფილები (პროფ. 1-7) გატარებული იქნენ, როგორც ცილინდრის მიმართ დღიურ ზედაპირზე, ასევე სამი პროფილი ცილინდრის მიმართ ვერტიკალურ სიბრტეზე, მათგან ცენტრალური, ცილინდრის განთავსების ზოლზე.

ამოცანა წარმოადგენს ერთგვაროვან გარემოში განთავსებულ ნაწილობრივ წყალშემცველი ცილინდრული ობიექტის გეორადარული ელექტრომაგნიტური ტალღებით შექმნილი რადიოსახის გამოყოფა – დაფიქსირება და იდენტიფიცირება.

შედეგები და დისკუსია

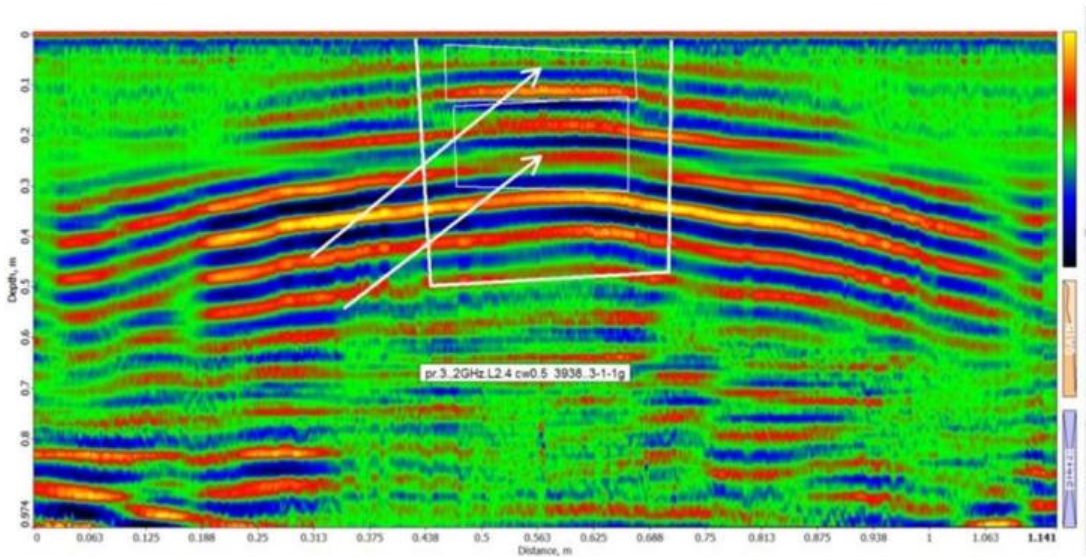
კვლევა შესრულდა გეოფიზიკის ინსტიტუტის გამოყენებითი და ექსპერიმენტალური გეოფიზიკის სექტორის გეორადიოლოკაციური ლაბორატორიის სამოდელო დანადგარზე [3]. გამოკვლეულ იქნა ერთგვაროვან სილოვან გარემოში არაგალვანური კავშირის მქონე [4] ცილინდრული სხეულის სრულად წყლით, სრულად ჰაერით და ნახევრად წყლით შევსებული სამი მოდელი. დღიურ სამოდელო ზედაპირზე გატარებულ იქნა შვიდი გეორადიოლოკაციური (გეორადარი Zond12-e, სოფტი-Prizm2.6) პროფილი, მათგან მოგვყავს მხოლოდ ცენტრალურები.



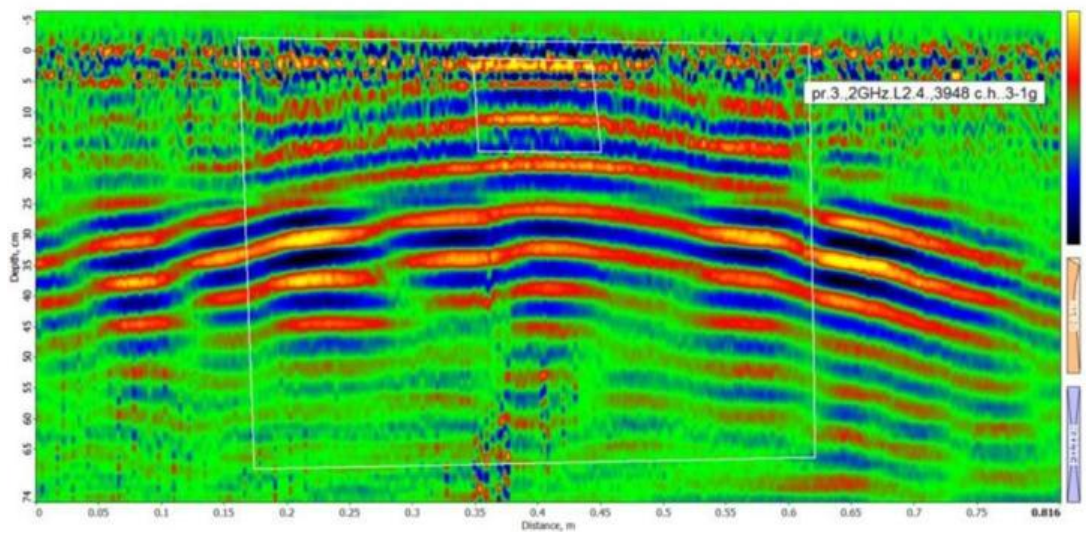
ნახ.1. წარმოდგენილი რადაროგრამა შეესაბამება წყლით სრულად შევსებული ცილინდრის ცენტრალურ პროფილს სიგრძით – 2.4მ, შესრულებულს Zond 12-e, 2გჰც ანტენით დღიურ ზედაპირზე.

ნახ. 1, 2, 3 რადაროგრამების ცილინდრის ზედაპირიდან რადიოსახის დიფრაგირებული ტალღების მიხედვით ინტერპრეტაციიდან ირკვევა, რომ ლოკაცია სამივე შემთხვევაში, განთავსების კოორდინატების მიხედვით, შეესაბამება ცილინდრის დიამეტრის სიგრძეს. ამასთან ირკვევა რომ რადიოსახის თავისებურებები ვლინდება ცილინდრის განთავსების ლოკაციის ქვედა მხარესაც, კერძოდ ნახ. 1-სთვის სინფაზურობის ღერძების მნიშვნელოვანი გამოკვეთილობა, ინტენსივობის მკვეთრი კლება დისტანციებზე 1-1.18მ და სიღრმეებზე 0.3-0.5მ, რაც ეკრანირებულ ხასიათს ატარებს.

ნახ 2-სთვის რადიოსახის სინფაზურობის ღერძების მკვეთრად გაყოფა ორ ნაწილად 0.1-0.25მ სიღრმეებისთვის მკაფიოდ ახასიათებს სივრცის ჰაერი-წყალი გამყოფი ზედაპირის არსებობას. ამასთან ერთად, ქვედა ვრცელი ნაწილი 0.3-0.5მ სიმძლავრით ასევე მაკრანირებულ ხასიათს ატარებს.



ნახ.2. წარმოდგენილია რადაროგრამა წყლით ნახევრად შევსებული ცილინდრის ცენტრალური პროფილით სიგრძით- 2.4მ (მოტანილია-2მ-სთვის) გადაკვეთისას Zond 12-e, 2გჰც ანტენით.



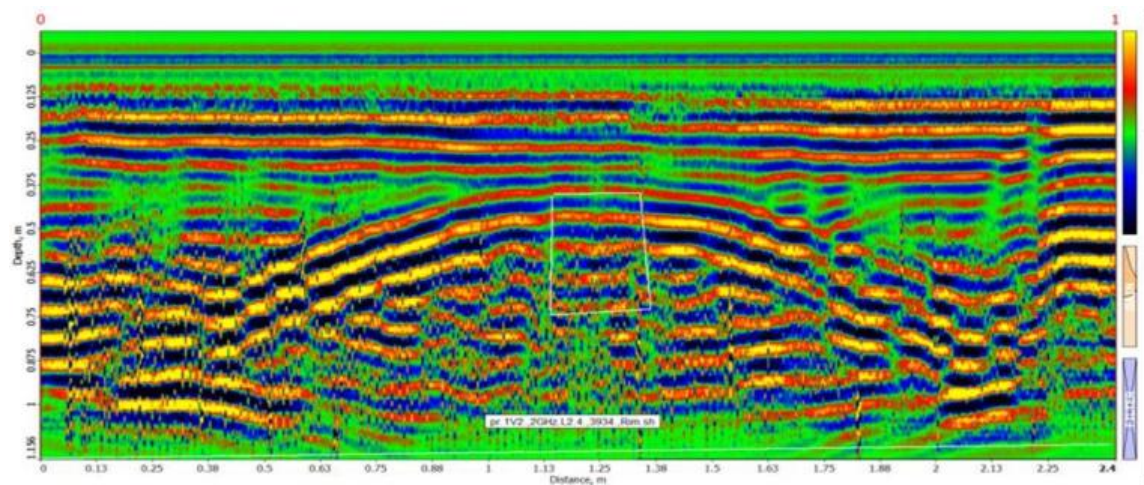
ნახ. 3. წარმოდგენილია რადაროგრამა ჰაერით სრულად შევსებული ცილინდრის ცენტრალური პროფილით სიგრძით- 2.4მ (მოტანილია 1.5მ) გადაკვეთისას Zond 12-e 2გჰც ანტენით.

ნახ. 3 ჰაერის შემცველი ცილინდრის რადიოსახე შეიცავს სინფაზურობის ღერძების განსაკუთრებულობას 0.15-0.25მ სიღრმეებისთვის, რომელიც სიგანით შეესაბამება ცილინდრის დიამეტრს, ხოლო სიღრმით 0.3-0.5მ სინფაზურობის ღერძების ინტერფერენციულ ხასიათს ატარებს.

მპლავრი ინტერფერენციული სურათი, რაც სამივე ცილინდრულ მოდელს ახასიათებს დაახლოებით 0.05-1მ დისტანციებზე და დაახლოებით 0.7მ სიღრმეებისთვის, დიფრაქციული-რევერბერაციული მოვლენების სუპერპოზიციის შედეგი უნდა იყოს სამოდულო დანადგარის ვერტიკალური კედლებიდან და მოითხოვს ვერტიკალური გეორადიოლოკაციური ექსპოზიციიდან დამატებით გამოკვლევებს.

ჩატარდა ჰორიზონტალურად განთავსებული ცილინდრის მოდელების გეორადრული გამოკვლევა ვერტიკალური სიბრტყის მხრიდან, გეორადიოლოკაციური პროფილები გატარდა ცილინდრების ღერძების მართობულად საკვლევი სივრცის გვერდით წახნაგზე.

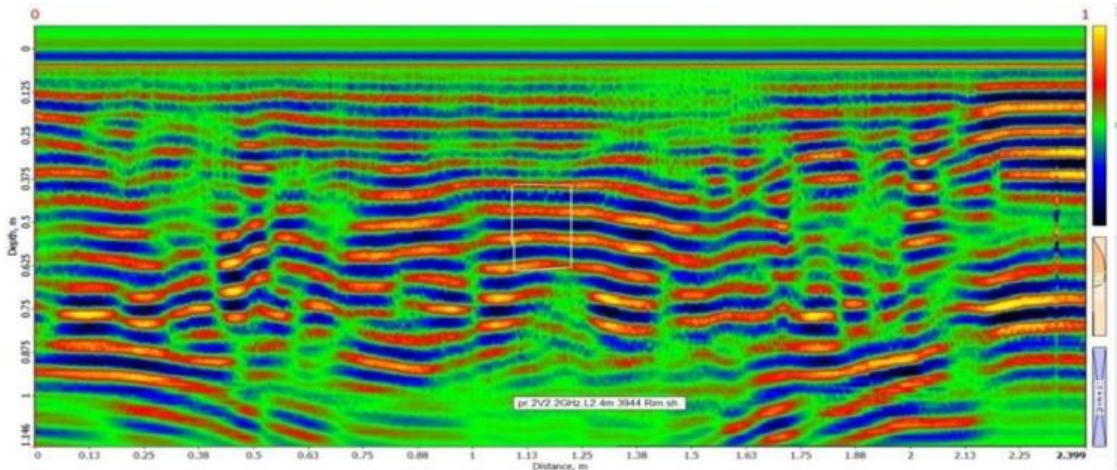
ტრასირებისა და მორჩევის ოპციების გამოყენებით, თეთრი წირებით მონიშნული (ნახ. 4), მართკუთხედი შეესაბამება წყლით სრულად შევსებული ცილინდრის ლოკაციას. ის წარმოადგენს ვერტიკალური სიბრტყიდან გეორადიოლოკაციური ექსპონირებით პროფილ-1V2, 2GHz, L2.4m, Rim. რადიოსახეს. უნდა აღინიშნოს, რომ რადიოსახის ზომა თვით ობიექტის ზომებთან შედარებით დაახლოებით 10 ჯერ მეტია. ასევე მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ თვით ცილინდრის კედლები ქმნიან სამოდულო სივრცის კედლების მიმართ მცირე ზომის „ბოუ-თაის“, რაც სავსებით გასაგებია და ქმნის დამატებით დამაზუსტებელ ნიშანს პარალელური კედლების არსებობის დასადასტურებლად.



ნახ.4. წარმოდგენილი რადაროგრამა შეესაბამება წყლით სრულად შევსებული ცილინდრის ცენტრალურ პროფილს სივრცით – 2.4მ, შესრულებულს Zond 12-e, 2გჰც ანტენით, ვერტიკალურ სიბრტყეში.

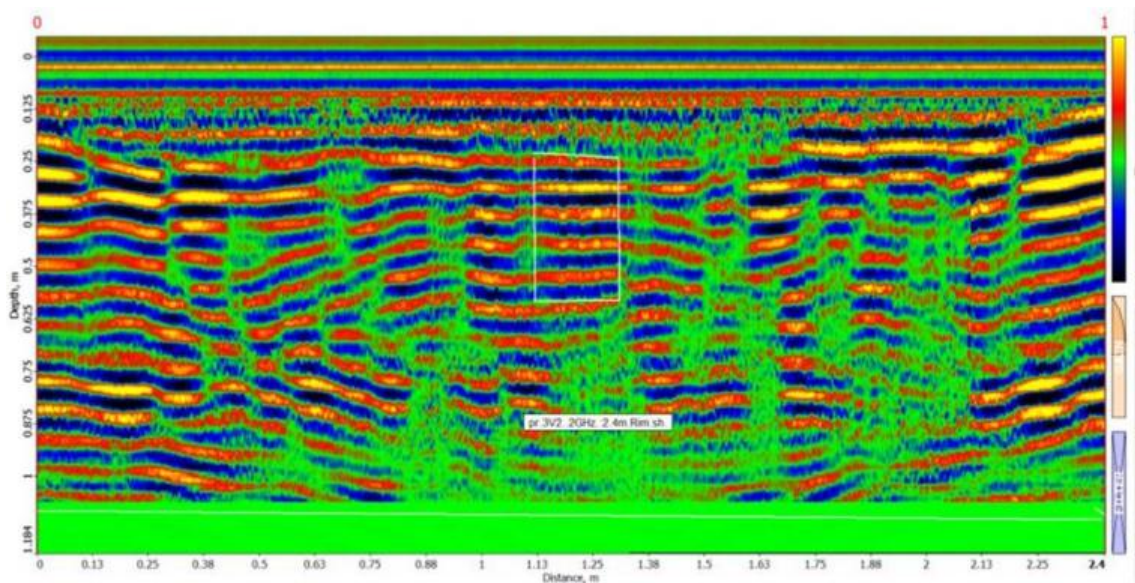
ტრასირებისა და მორჩევის ოპციების გამოყენებით, თეთრი წირებით მონიშნული (ნახ.5), მართკუთხედი შეესაბამება წყლით ნახევრად და ნახევრად ჰაერით შევსებული ცილინდრის ლოკაციას. ის წარმოადგენს ვერტიკალური სიბრტყიდან გეორადიოლოკაციური ექსპონირებით პროფილ-2V2,2GHz,L2.4m,Rim. რადიოსახეს. უნდა აღინიშნოს, რომ რადიოსახის ზომა თვით ობიექტის ზომებთან შედარებით დაახლოებით 10 ჯერ მეტია. ასევე მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ თვით ცილინდრის კედლები ქმნიან სამოდულო სივრცის

კედლების მიმართ მცირე ზომის „ბოუ-თაის“, რაც სავსებით გასაგებია და ქმნის დამატებით დამაზუსტებელ ნიშანს პარალელური კედლების არსებობის დასადასტურებლად.



ნახ.5. წარმოდგენილი რადაროგრამა შეესაბამება წყლით ნახევრად და ნახევრად ჰაერით შევსებული ცილინდრის ცენტრალურ პროფილს სიგრძით – 2.4მ, შესრულებულს Zond 12-e, 2გჰც ანტენით, ვერტიკალურ სიბრტყეში.

ძირითადი მომვლები ე.წ. დიფრაქციული „ულვაშის“ შესაბამისი სინფაზურობის ღერძები ქმნიან „პლატოს“ ცილინდრის ზედა ფუძესთან, 1.05-1.25მ დისტანციებთან და სიმძლავრით 0.3მ, რაც სავსებით შეესაბამება ცილინდრის ზომებს.



ნახ.6. წარმოდგენილი რადაროგრამა შეესაბამება ჰაერით შევსებული ცილინდრის ცენტრალურ პროფილს სიგრძით – 2.4მ, შესრულებულს Zond 12-e, 2გჰც ანტენით, ვერტიკალურ სიბრტყეში.

ტრასირებისა და მორჩვევის ოპციების გამოყენებით, თეთრი წირებით მონიშნული (ნახ.6), მართკუთხედი შეესაბამება ჰაერით სრულად შევსებული ცილინდრის ლოკაციას. ის წარმოადგენს ვერტიკალურ სიბრტყიდან გეორადიოლოკაციური ექსპონირებით პროფილ-3V2, 2GHz, L2.4m, Rim. რადიოსახეს. უნდა აღინიშნოს, რომ რადიოსახის ზომა თვით ობიექტის ზომებთან შედარებით დაახლოებით 10 ჯერ მეტია. ასევე მნიშვნელოვანია აღი-

ნიშნოს, რომ თვით ცილინდრის კედლები ქმნიან სამოდულო სივრცის კედლების მიმართ მცირე ზომის „ბოუ-თაის“, რაც სავსებით გასაგებია და ქმნის დამატებით დამაზუსტებელ ნიშანს პარალელური კედლების არსებობის დასადასტურებლად.

ძირითადი მომვლები ე.წ. დიფრაქციული „ულვაშის“ შესაბამისის ინფაზურობის დერძები ქმნიან ჰორიზონტალური სინფაზურობის დერძების ერთობლიობას მონიშნულ მართკუთხედში ცილინდრის ზედა ფუძესთან, 1.1-1.27მ დისტანციებთან და სიმძლავრით 0.3მ, რაც სავსებით შეესაბამება ცილინდრის ზომებს.

ვერტიკალური სიბრტყიდან ჩატარებული გეორადიოლოკაციური პროფილების შედარებითი ანალიზიდან გამომდინარეობს, რომ წყლის შემცველი ცილინდრის რადიოსახე შეესაბამება მკაფიოდ გამოხატულ პარაბოლას, ნახევრად წყალშემცველი და ნახევრად ჰაერ-შემცველი ცილინდრის რადიოსახე ყალიბდება როგორც ზედა ფუძესთან არსებული გადაგვარებული ჰიპერბოლა ორ ბურცობს შორის განთავსებული პლატოთი, ჰაერის სრულად შემცველი ცილინდრი აყალიბებს მხოლოდ ბრტყელი „პლატოს“ შემცველ ჰიპერბოლას.

ელექტრომაგნიტური ველების მსგავსობის თეორიიდან გამომდინარე [2] მსგავსობის კოეფიციენტების გამოყენებით [2], ლაბორატორიულ გეომეტრიულ და სიხშირულ პარამეტრებისთვის შეიძლება დავასკვნათ, რომ სავსე პირობებში ანალოგიური მოდელისთვის ობიექტი შეიძლება იყოს ოთხჯერ მეტი ზომის, შესაბამისი ფორმის რადიოსახეით 500მმ-ც ცენტრალური სიხშირისთვის უცვლელი ფარდობითი დიელექტრიკული განვლადობის გარემოსთვის.

ქვემოთ მოგვყავს გეომეტრიული მასშტაბის მახასიათებელი სიგრძის შესაბამისობის ცხრილი 1 სხვადასხვა გეორადიოლოკაციური ტალღის ცენტრალური სიხშირეებისთვის, სამოდულო და სავსე კვლევებისას დაფიქსირებული იდენტური რადიოსახეებისთვის. გადათვალა მოხდა მსგავსობის თეორიის ძირითადი თანაფარდობის გამოყენებაზე დაფუძნებით [2].

ცხრილი 1

$l_m=1$	f_n	2GHz	500MHz	300MHz	150MHz	100MHz	75MHz	40MHz
$f_m=2GHz$	l_n	$l_n 1m. (f = 2GHz)$	4m	6.67m	13.3m	20m	26.7m	50m
$l_m=1m$ $f_m=500MHz$	l_n		1m	1.67m	3.33m	5m	6.67m	12.5m
$l_m=1m$ $f_m=300MHz$	l_n			1m	2m	3m	4m	7.5m
$l_m=1m$ $f_m=150MHz$	l_n				1m	1.5m	2m	3.75m
$l_m=1m$ $f_m=100MHz$	l_n					1m	1.33m	2.5m
$l_m=1m$ $f_m=75MHz$	l_n						1m	1.88m

ინდექსი – m, შეესაბამება მოდელურ პარამეტრებს, ხოლო ინდექსი – n, შეესაბამება სავსე, ბუნებრივ პარამეტრებს, უცვლელი ფარდობითი დიელექტრიკული განვლადობის

პირობებში. განსხვავებული ფარდობითი დიელექტრიკული განვლადობის შემთხვევაში გაითვალისწინება შესაბამისი მსგავსობის კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობები [4].

ლიტერატურა – References – Литература

- [1] Lezhava Z., Tsikarishvili K., Asanidze L., Chikhradze N., Karalashvili T., Odilavadze D., Tarkhnishvili A.. The results of a complex study of the Turchu limestone hollow (polje). Western Georgia, Caucasus. European Journal of Geography – ISSN 1792-1341, DOI: <https://doi.org/10.48088/ejg.z.lez.12.3.006.0202>. Volume 12, Issue 3, 03-Nov-2021, pp. 006 – 020.
- [2] Odilavadze D.T., Chelidze T.L. Geophysical modeling of the georadiolocation field in direct and inverse tasks of electrodynamics. Geophysical Journal V.35, №4, 2013, p.p. 154-160 (in Russian).
- [3] Odilavadze D.T., Chelidze, T.L. Physical Modeling of Lava Tubes in the GPR. Mikheil Nodia Institute of Geophysics, Transactions, vol. LXVII, ISSN 1512-1135, Publishing house of the Tbilisi State University, Tbilisi, 2017, pp. 129-142.
- [4] Odilavadze D., Chelidze T., Tskhvediasvili G. Georadiolocation Physical Modeling for Disk-Shaped Voids. Journal of the Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth, vol. 18, 2015.

დიელექტრიკულ გარემოში განთავსებული განსხვავებული დიელექტრიკული შემავსებლებით აგებული ცილინდრული სხეულების გეორადიოლოკაციური სახეები და მათი იდენტიფიცირება ობიექტებთან

ოდლავაძე დ., ჭელიძე თ., იავოლოვსკაია ო.

რეზიუმე

გეორადიოლოკაციური ფიზიკური მოდელირების მეთოდით სამთო, გეოტექნიკური, სპელეოლოგიური, არქეოლოგიური, სპეციფიკური მიწისქვეშა სიცარიელების გამოკვლევა. მოდელები შეიცავენ წყლით, ჰაერით და ნაწილობრივად წყალ-ჰაერით შევსებულ ცილინდრული ზედაპირით შემოფარგულ სივრცეებს. გეორადიოლოკაციური (გეორადარი Zond12-e, სოფტი-Prizm2.6) პროფილური კვლევა განხორციელდა მოდელის ჰორიზონტალურად განთავსების სიბრტყის მიმართ დღიურ ზედაპირისა და დღიური ზედაპირის მიმართ მართობულ სიბრტყეებში. მიღებული შედეგების მიხედვით იდენტიფიცირდა და დაფიქსირდა შესაბამისი რადიოსახეები და მათი ბუნებრივ პირობებში განთავსებისას სიხშირული და გეომეტრიული შესაბამისობები.

საკვანძო სიტყვები: საინჟინრო გეოფიზიკა, გეორადარი, სპელეოლოგია.

GEORADIOLOCATION IMAGES OF CYLINDRICAL BODIES BUILT WITH DIFFERENT DIELECTRIC FILLERS, PLACED IN A DIELECTRIC ENVIRONMENT AND THEIR IDENTIFICATION WITH OBJECTS

Odilavadze D., Chelidze T., Yavolovskaya O.

Abstract

Study of mountain, geotechnical, speleological, archaeological, specific underground voids using the method of ground penetrating radar physical modeling. The models contain spaces limited by a cylindrical surface filled with water, air and partially a water-air environment. GPR (Zond12-e ground penetrating radar, soft-Prizm2.6) profile survey was carried out in planes directed to the plane of the horizontal location of the model relative to the day surface and in a plane perpendicular to the day

surface. Based on the results obtained, the corresponding radio images, their frequency and geometric correspondences in natural conditions were identified and recorded.

Key words: engineering geophysics, georadar, speleology.

ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ОБРАЗЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТЕЛ, СОСТАВЛЕННЫХ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И ПОМЕЩЕННЫХ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СРЕДУ, И ИХ ИДЕНТИФИКАЦИЯ С ОБЪЕКТАМИ

Одилавадзе Д., Челидзе Т., Яволовская О.

Реферат

Исследование горных, геотехнических, спелеологических, археологических, специфических подземных пустот методом георадиолокационного физического моделирования. В моделях присутствуют пространства, ограниченные цилиндрической поверхностью, заполненной водой, воздухом и частично водно-воздушной средой. Георадиолокационная (георадар Зонд12-е, софт-Призма2.6) профильная съемка проводилась в плоскостях, направленных к плоскости горизонтального расположения модели относительно дневной поверхности и в плоскости перпендикулярно к дневной поверхности. По полученным результатам идентифицированы и зафиксированы соответствующие радиообразы, их частотные и геометрические соответствия в природных условиях.

Ключевые слова: инженерная геофизика, георадар, спелеология.

მარნეულის რაიონის, იაღლუჯა არსებული სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების მიწის ნაკვეთის ტერიტორიის გამოკვლევა სეისმოძიების მეთოდებით

გიგებერია მ., ქირია ჯ., ღლონტი ნ.

*ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი*

შესავალი

კვლევის ამოცანას წარმოადგენდა მარნეულის რაიონის, იაღლუჯა არსებული სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების მიწის ნაკვეთის ტერიტორიის გამოკვლევა სეისმოძიების მეთოდების გამოყენებით. ანგარიშში წარმოდგენილია შესაბამისი შედეგები.

ჩატარდა სეისმური პროფილირება გარდატეხილი ტალღების მეთოდით, აიგო შესაბამისი სეისმოგეოლოგიური ჭრილები, განისაზღვრა დრეკადი გრძივი და განივი ტალღების გავრცელების სიჩქარეები. ასევე შეფასდა შესაბამისი ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები. ნაშრომში წარმოდგენილია ერთი 23 მ სიგრძის და 19, 22 მ სიგრძის, სულ 20 სეისმური პროფილის ჭრილი, საერთო სიგრძით 441მ (ნახ.1). ცხრილი 1-ში მითითებულია სეისმური პროფილების დასაწყისი და საბოლოო კოორდინატები WGS84 სისტემაში აბსოლუტურ სიმაღლეებთან ერთად.



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

**ცხრილი 1. სეისმური პროფილების დასაწყისი და საბოლოო კოორდინატები.
 №-1 მიუთითებს პირველ გეოფონს ანუ პროფილის დასაწყისს, ხოლო №-24 – 24-ე გეოფონს
 ანუ პროფილის ბოლოს. H მიუთითებს აბსოლუტურ სიმაღლეებს**

Prof.№	X	Y	H,m
1-1	497150	4596357	572
1-24	497165	4596339	572
2-1	497278	4596110	568
2-24	497292	4596089	568
3-1	497395	4595849	561
3-24	497403	4595824	560
4-1	497422	4595654	563
4-24	497444	4595645	562
5-1	497168	4595613	585
5-24	497190	4595608	585
6-1	497104	4595837	578
6-24	497120	4595818	578
7-1	496984	4596045	579
7-24	496997	4596024	579
8-1	496575	4596033	580
8-24	496597	4596029	579
9-1	496821	4595918	583
9-24	496835	4595898	584
10-1	496952	4595679	586
10-24	496967	4595661	587
11-1	496993	4596217	575
11-24	497009	4596191	574
12-1	496824	4596055	581
12-24	496840	4596061	582
13-1	496702	4595932	577
13-24	496727	4595928	577
14-1	497109	4596019	573
14-24	497133	4596021	572
15-1	496931	4595792	586
15-24	496949	4595768	586
16-1	497240	4595786	570
16-24	497264	4595790	569
17-1	497062	4595647	587
17-24	497085	4595646	586
18-1	497015	4595514	581
18-24	497036	4595521	583
19-1	497116	4595499	589
19-24	497137	4595497	588
20-1	497303	4595577	578
20-22	497325	4595578	576

სეისმური პროფილირება

ქანების თვისებების გამოკვლევა საინჟინრო სეისმოძიების პრობლემების გადაწყვეტი-სათვის ერთ-ერთ უმთავრეს ამოცანას წარმოადგენს. ჩვენი ძირითადი ამოცანა იყო მო-ცემული უბნის აგებულების შესწავლა და ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების განსაზღვ-რა გრძივი და განივი დრეკადი ტალღების სიჩქარეების მნიშვნელობების საფუძველზე. ამი-სათვის ამორჩეული იქნა გარდატეხილი ტალღების სავლე სეისმური მეთოდი.

გარდატეხილი ტალღების მეთოდი იძლევა საშუალებას განისაზღვროს ზედაპირული და უფრო ღრმა ფენების სიმძლავრეები და მათში დრეკადი ტალღების გავრცელების სიჩქარეები. მეთოდი ემყარება დრეკადი ტალღების წყაროდან ერთ ხაზზე განლაგებულ გეოფონებში P და S ტალღების პირველი შემოსვლების დროების განსაზღვრას. ამრიგად, კვლევის ამოცანა იყო ქანების სტრუქტურის განსაზღვრა და გამოყოფილ სტრუქტურულ ელემენტებში შემდეგი ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების განსაზღვრა:

1	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე
2	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე
3	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა
4	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე
5	μ	პუასონის კოეფიციენტი
6	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული
7	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული
8	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული
9	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული
10	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე

შენიშვნა. აღნიშნული პარამეტრებიდან 1-3 მიღებულია კვლევის შედეგად, 5-8 გამოთ-ვლილია ცნობილი თეორიული დამოკიდებულებების საფუძველზე, ხოლო 4,9,10 მიღებუ-ლია ჩვენს ხელთ არსებული ემპირიული კავშირების გამოყენებით.

პარამეტრების გამოთვლილი მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილი 2–21-ში.

სეისმოპროფილირება ჩატარდა 10 ჰერციანი გეოფონებით, რომელთა შორის დაშორე-ბაც 1 მეტრს შეადგენდა. სეისმური ტალღების ინდუცირება ხდებოდა 10კგ-იანი უროს პლა-სტმასის სპეციალურ ფირფიტაზე დარტყმით. გეოფონები და დარტყმები სრულდებოდა Z-Z და Y-Y ორიენტირებით, გამოიყენებოდა 5 დარტყმის წერტილიანი სისტემა, რომელიც მოიცავდა დარტყმებს პროფილის დასაწყისში, შუაში, ბოლოში და ორ გატანილ დარტყმას. ტალღის ტიპის მიხედვით იცვლებოდა დარტყმის ორიენტირებაც.

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

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

გაკეთდა მიღებული მონაცემების ანალიზი და აიგო შესაბამისი ჭრილები (ნახ.3-22).

კვლევის შედეგები

საკვლევ ტერიტორიაზე ჩატარდა სეისმური პროფილირება გარდატეხილი ტალღების მეთოდით. აიგო შესაბამისი სეისმოგეოლოგიური ჭრილები, განისაზღვრა დრეკადი გრძივი და განივი ტალღების გავრცელების სიჩქარეები. ასევე შეფასდა შესაბამისი ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები. ანგარიშში წარმოდგენილია ერთი 23მ სიგრძის და 19 22მ სიგრძის, სულ 20 სეისმური პროფილის ჭრილი, საერთო სიგრძით 441მ (ნახ.1). ცხრილი1-ში მითითებულია სეისმური პროფილების დასაწყისი და საბოლოო კოორდინატები WGS84 სისტემაში აბსოლუტურ სიმაღლეებთან ერთად.

გეოფიზიკური პარამეტრების მიხედვით გამოყოფილია სხვადასხვა საინჟინრო-გეოლოგიური ელემენტები (ფენები) და დადგენილია მათში V_p , V_s სიჩქარეების მნიშვნელობების განაწილება. შესაბამისი ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილებში 2-21 (ნახ.:3-22).

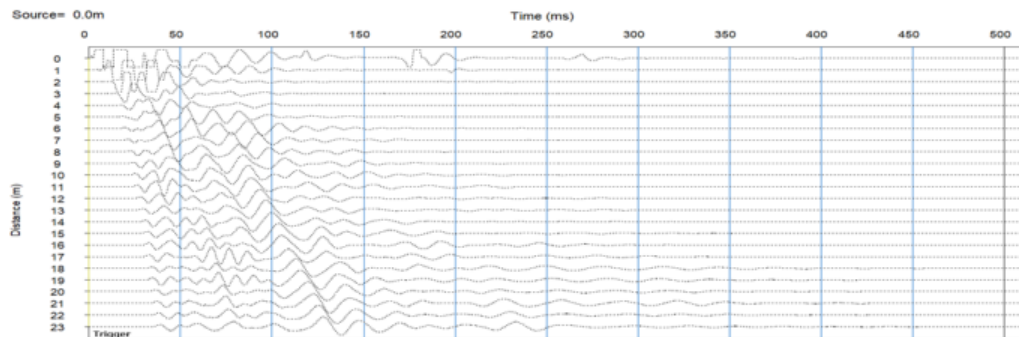
მიღებულ ჭრილებზე გეოფიზიკური მონაცემების მიხედვით უმთავრესად დაიკვირვება ფიზიკური თვისებებით განსხვავებული სამი ფენი (პირველ და მეორე ფენებში იდენტიფიკაცია განხორციელდა ჩვენს მიერ მიღებული გეოფიზიკური მასალისა და დამკვეთის მიერ მოწოდებული გეოლოგიური ინფორმაციის საფუძველზე, ხოლო მესამე ფენი მოცემულია იდენტიფიკაციის გარეშე):

ფენი 1 – ნიადაგის ფენი – თიხნარი ხრეშის შემცველობით;

ფენი 2 – თიხნარი თაბაშირისა და ხრეშის ელემენტების ჩანართებით;

ფენი 3 – შედარებით მაღალ სიჩქარიანი შრე.

ნახ. 2-ზე ნიმუშის სახით წარმოდგენილია სეისმურ პროფილ №1-ზე მიღებული პირველადი ჩანაწერები.



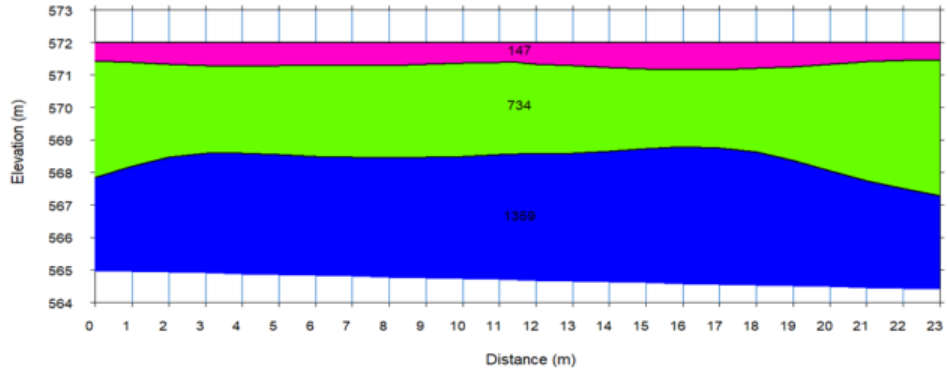
ნახ.2. პირველადი ჩანაწერები მიღებული პროფილი №1-სათვის.

პროფილი №1

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 0.5-0.8მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 147$ მ/წმ; $V_s = 88$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 2.5-4მ სიმძლავრის **ფენი 2**, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 734$ მ/წმ; $V_s = 374$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს **ფენი 3**, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 9მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 1359$ მ/წმ; $V_s = 624$ მ/წმ.



ნახ.3. სეისმოგეოლოგიური ჭრილი №1.

ცხრილი 2. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №1.

ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	147	0.6
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	88	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.60	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.12	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.22	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	20	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	9	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	12.65	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.06	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	–	
2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	734	3.5
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	374	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.51	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.68	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.32	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	620	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	234	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	590.39	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	15.73	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	11.72	

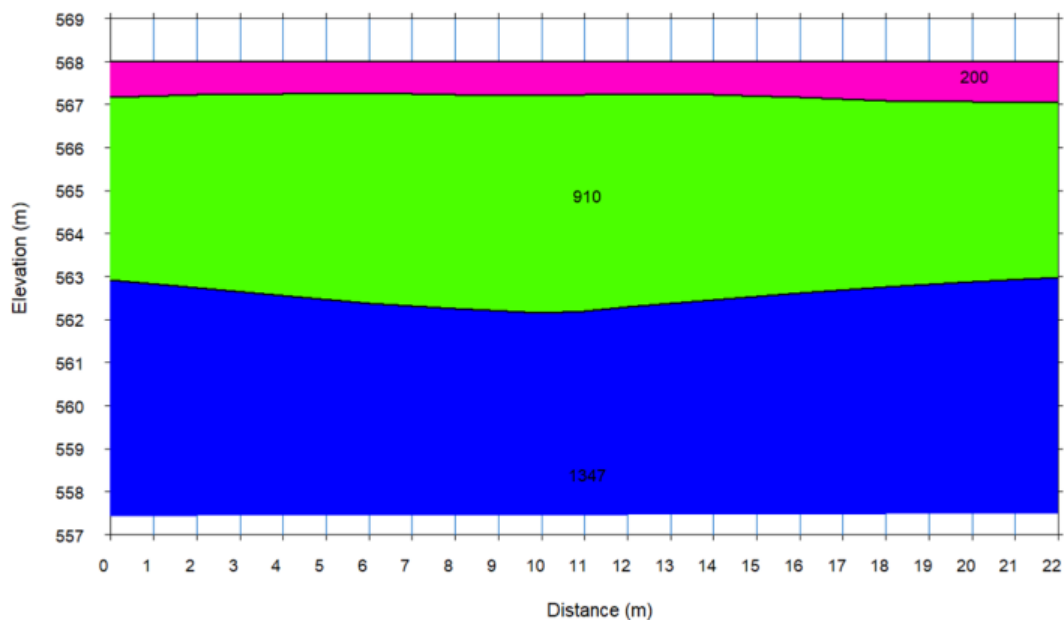
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1359	3.9
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	624	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.46	
	ρ gr/cm³	სიმკვრივე	1.96	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.37	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	2080	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	761	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	2595.76	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	109.20	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	38.06	

პროფილი №2

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 0.7-0.9მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 200$ მ/წმ; $V_s = 118$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 1.5-4.5მ სიმძლავრის **ფენი 2**, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 910$ მ/წმ; $V_s = 468$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს **ფენი 3**, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 11მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 1347$ მ/წმ; $V_s = 612$ მ/წმ.



ნახ.4. სეისმური ჭრილი №2.

ცხრილი 3. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №2.

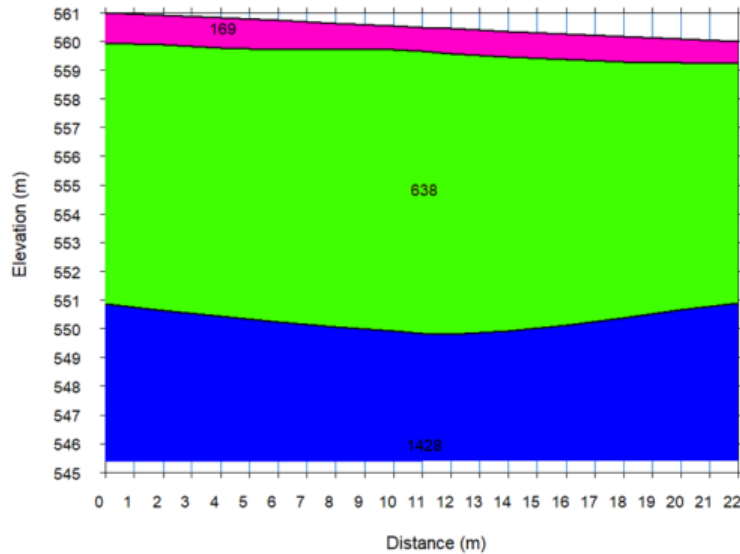
ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	200	0.8
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	118	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.59	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.21	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.23	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	40	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	17	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	25.96	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.20	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	
2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	910	4.5
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	468	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.51	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.77	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.32	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	1020	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	387	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	948.06	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	34.90	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	19.37	
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1347	5.7
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	612	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.45	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.95	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.37	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	2000	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	731	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	2565.25	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	102.55	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	36.53	

პროფილი № 3

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 0.6-1.1მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 169$ მ/წმ; $V_s = 102$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 8-9მ სიმძლავრის ფენი 2, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 638$ მ/წმ; $V_s = 326$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს ფენი 3, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 15მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 1428$ მ/წმ; $V_s = 654$ მ/წმ.



ნახ.5. სეისმოგეოლოგიური ჭრილი №3.

ცხრილი 4. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №3.

ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	V_p m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	169	0.8
	V_s m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	102	
	V_s/V_p	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.60	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.16	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.21	
	E_d Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	30	
	G_d MPa	ძვრის დინამიური მოდული	12	
	K_d Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	17.05	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.12	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	

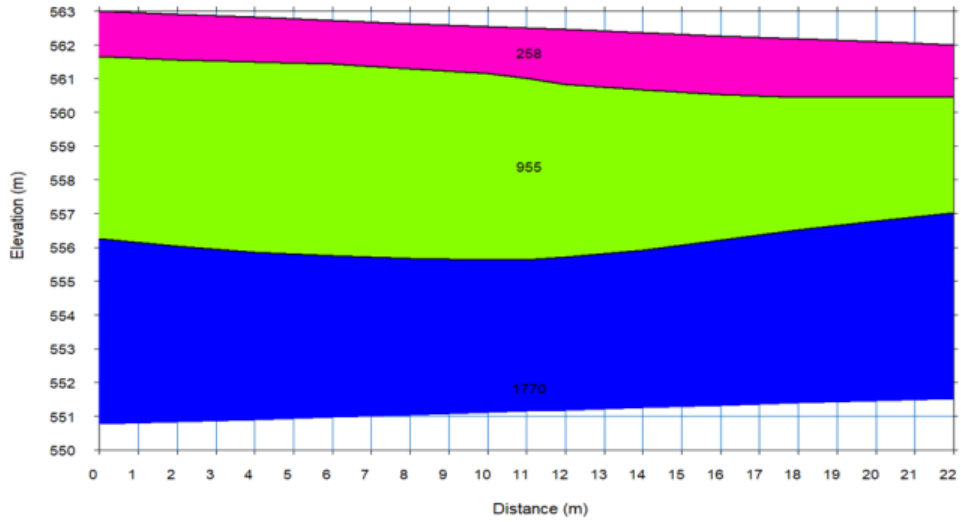
2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	638	8.5
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	326	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.51	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.62	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.32	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	460	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	172	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	429.41	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	9.75	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	8.60	
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1428	5.7
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	654	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.46	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.98	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.37	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	2320	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	847	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	2907.56	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	130.06	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	42.33	

პროფილი № 4

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 1.2-1.5მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 258$ მ/წმ; $V_s = 156$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 3.5-5.5მ სიმძლავრის **ფენი 2**, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 955$ მ/წმ; $V_s = 485$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს **ფენი 3**, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 9მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 1770$ მ/წმ; $V_s = 816$ მ/წმ.



ნახ.6. სეისმოგეოლოგიური ჭრილი №4.

ცხრილი 5. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №4.

ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	258	1.4
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	156	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.60	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.29	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.21	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	80	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	31	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	44.03	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.59	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	
2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	955	4
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	485	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.51	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.79	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.33	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	1120	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	421	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	1071.13	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	40.53	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	21.05	

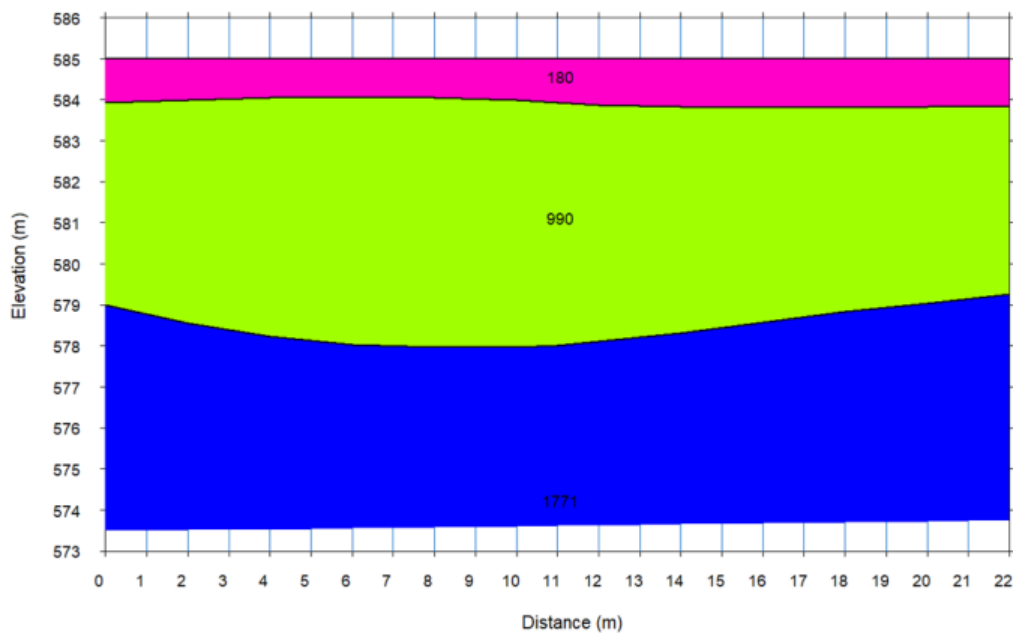
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1770	5.6
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	816	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.46	
	ρ gr/cm³	სიმკვრივე	2.09	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.37	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	3800	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	1391	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	4689.03	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	286.57	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	69.53	

პროფილი № 5

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 1-1.2მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 180$ მ/წმ; $V_s = 109$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 4.5-6მ სიმაღლის **ფენი 2**, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 990$ მ/წმ; $V_s = 502$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს **ფენი 3**, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 11მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 1771$ მ/წმ; $V_s = 827$ მ/წმ.



ნახ.7. სეისმოგეოლოგიური კრილი №5.

ცხრილი 6. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №5.

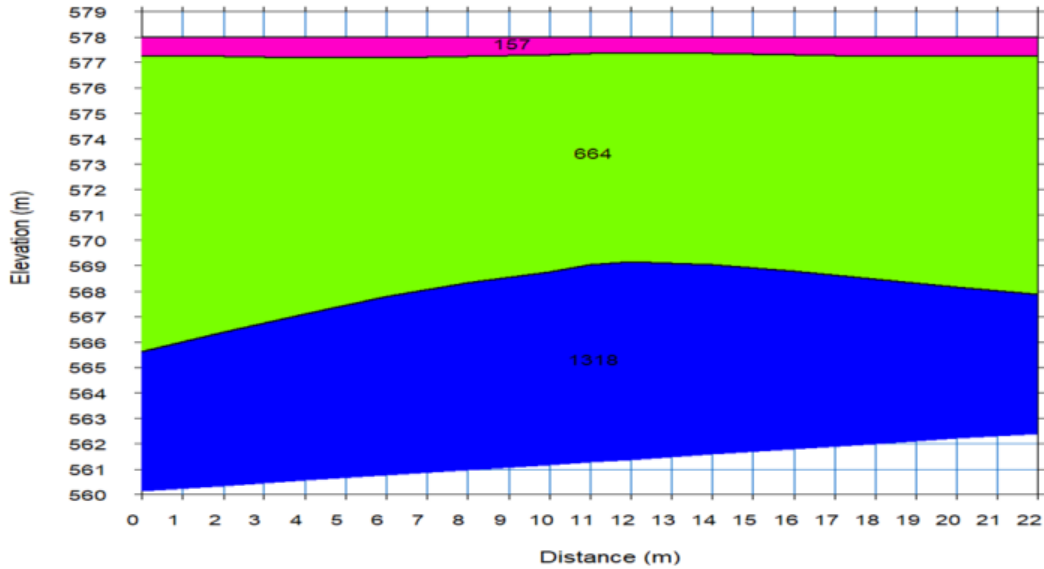
ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	180	1.1
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	109	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.61	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.18	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.21	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	30	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	14	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	19.53	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.12	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	
2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	990	5.5
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	502	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.51	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.81	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.33	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	1210	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	455	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	1163.36	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	45.87	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	22.76	
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1771	4.4
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	827	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.47	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	2.09	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.36	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	3890	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	1429	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	4646.76	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	297.52	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	71.43	

პროფილი №6

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 0.6-0.8მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 157$ მ/წმ; $V_s = 96$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 8-12მ სიმძლავრის ფენი 2, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 664$ მ/წმ; $V_s = 342$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს ფენი 3, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 16მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 1318$ მ/წმ; $V_s = 613$ მ/წმ.



ნახ.8. სეისმოგეოლოგიური ჭრილი №6.

ცხრილი 7. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №6.

ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	V_p m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	157	0.7
	V_s m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	96	
	V_s/V_p	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.61	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.14	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.20	
	E_d Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	30	
	G_d MPa	ძვრის დინამიური მოდული	11	
	K_d Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	14.09	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.12	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	

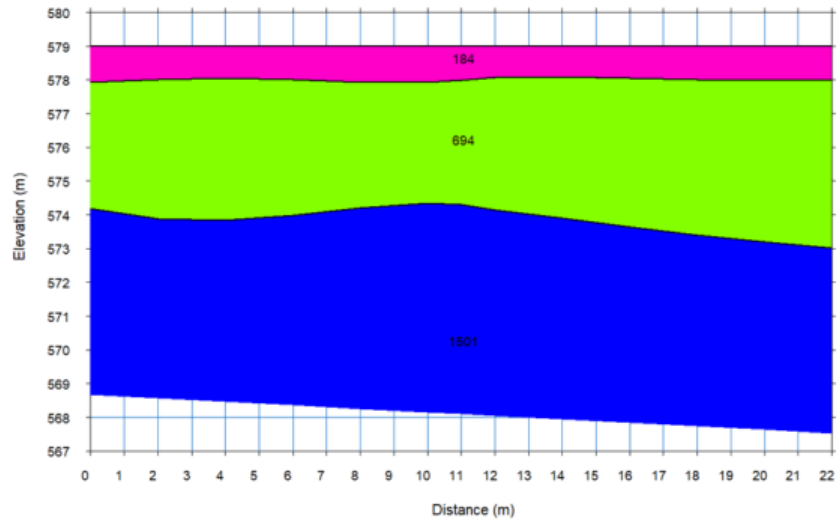
2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	664	10.5
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	342	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.52	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.63	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.32	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	500	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	191	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	465.75	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	11.14	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	9.56	
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1318	4.8
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	613	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.47	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.94	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.36	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	1990	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	729	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	2398.21	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	101.73	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	36.45	

პროფილი №7

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 0.9-1.1მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 184$ მ/წმ; $V_s = 112$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 4-5მ სიმძლავრის **ფენი 2**, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 694$ მ/წმ; $V_s = 352$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს **ფენი 3**, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 11მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 1501$ მ/წმ; $V_s = 706$ მ/წმ.



ნახ.9. სეისმოგეოლოგიური ჭრილი №7.

ცხრილი 8. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №7.

ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	184	1
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	112	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.61	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.19	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.21	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	40	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	15	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	20.32	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.20	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	
2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	694	4.5
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	352	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.51	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.65	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.33	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	540	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	205	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	522.97	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	12.61	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	10.24	

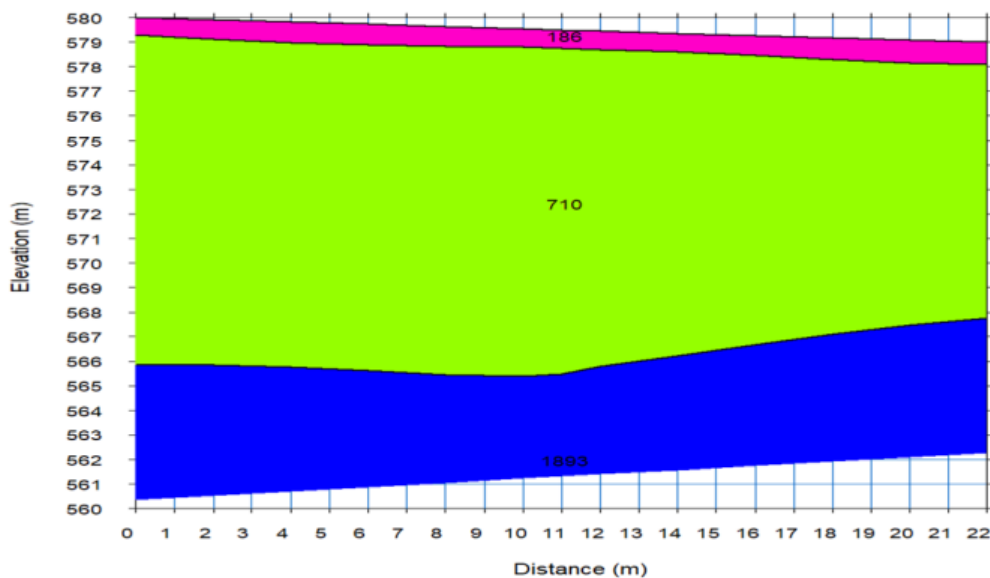
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1501	5.5
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	706	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.47	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	2.00	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.36	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	2710	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	999	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	3183.58	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	166.80	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	49.95	

პროფილი №8

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 0.7-0.9მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 186$ მ/წმ; $V_s = 112$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 10.5-13.5მ სიმძლავრის ფენი 2, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 710$ მ/წმ; $V_s = 358$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს ფენი 3, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 17მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 1893$ მ/წმ; $V_s = 895$ მ/წმ.



ნახ.10. სეისმოგეოლოგიური პროფილი №8.

ცხრილი 9. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №8.

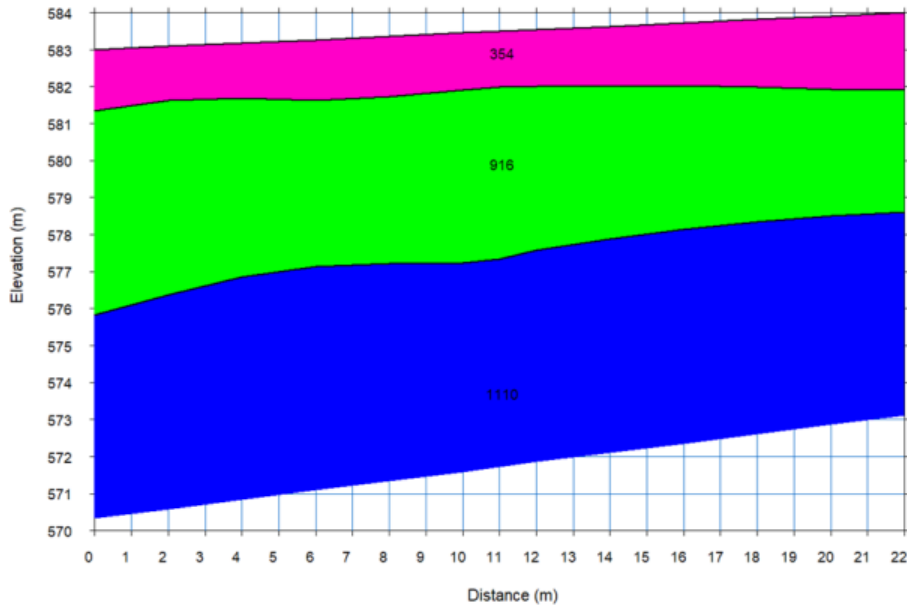
ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	186	0.8
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	112	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.60	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.19	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.22	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	40	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	15	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	21.25	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.20	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	
2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	710	12
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	358	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.50	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.66	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.33	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	570	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	213	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	553.85	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	13.75	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	10.65	
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1893	4.2
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	895	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.47	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	2.12	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.36	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	4610	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	1701	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	5342.61	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	390.47	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	85.07	

პროფილი №9

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 1.4-2.1მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 354$ მ/წმ; $V_s = 215$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 3.2-5.5მ სიმძლავრის **ფენი 2**, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 916$ მ/წმ; $V_s = 459$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს **ფენი 3**, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 12მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 1110$ მ/წმ; $V_s = 527$ მ/წმ.



ნახ.11. სეისმოგეოლოგიური ჭრილი №9.

ცხრილი 10. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №9.

ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	V_p m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	354	1.7
	V_s m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	215	
	V_s/V_p	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.61	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.40	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.21	
	E_d Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	160	
	G_d MPa	ძვრის დინამიური მოდული	65	
	K_d Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	88.95	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	1.80	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	

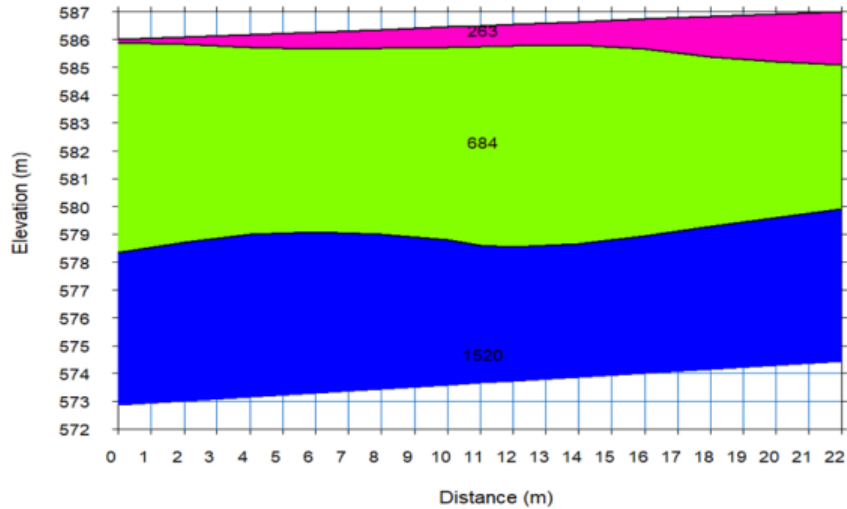
2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	916	4.5
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	459	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.50	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.77	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.33	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	990	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	373	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	988.73	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	33.27	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	18.66	
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1110	5.8
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	527	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.47	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.86	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.35	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	1400	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	516	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	1601.73	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	57.94	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	25.81	

პროფილი №10

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 0.2-1.8მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 263$ მ/წმ; $V_s = 161$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 5-7.5მ სიმძლავრის **ფენი 2**, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 684$ მ/წმ; $V_s = 354$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს **ფენი 3**, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 12მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 1520$ მ/წმ; $V_s = 716$ მ/წმ.



ნახ.12. სეისმოგეოლოგიური ჭრილი №10

ცხრილი 11. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №10.

ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	263	1
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	161	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.61	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.30	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.20	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	80	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	34	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	44.88	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.59	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	
2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	684	6
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	354	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.52	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.65	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.32	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	540	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	206	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	495.28	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	12.61	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	10.32	

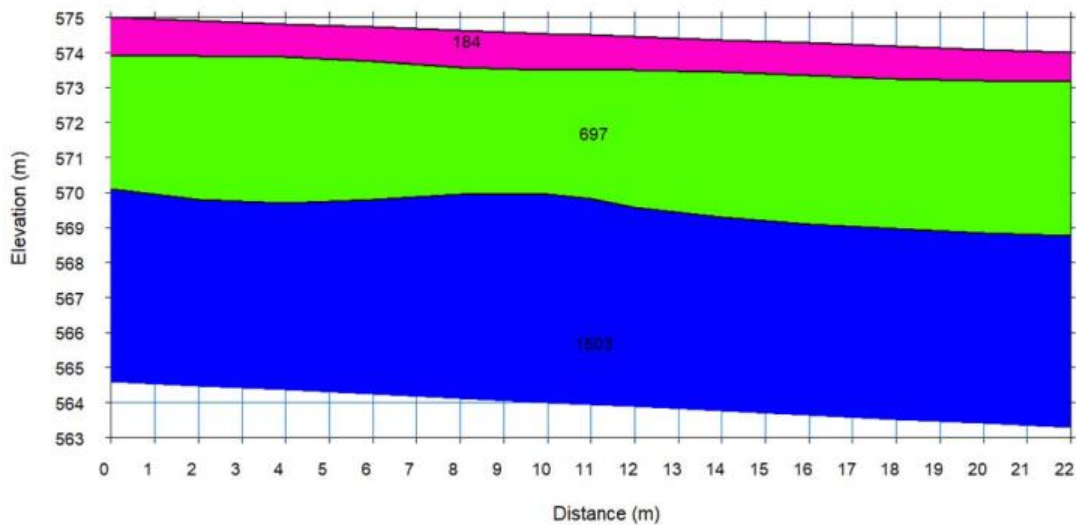
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1520	5
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	716	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.47	
	ρ gr/cm³	სიმკვრივე	2.01	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.36	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	2800	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	1031	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	3270.89	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	175.75	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	51.54	

პროფილი №11

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 0.8-1.2მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 184$ მ/წმ; $V_s = 112$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 3.8-4.3მ სიმაღლის **ფენი 2**, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 697$ მ/წმ; $V_s = 358$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს **ფენი 3**, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 11მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 1503$ მ/წმ; $V_s = 705$ მ/წმ.



ნახ.13. სეისმოგეოლოგიური ჭრილი №11.

ცხრილი 12. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №11.

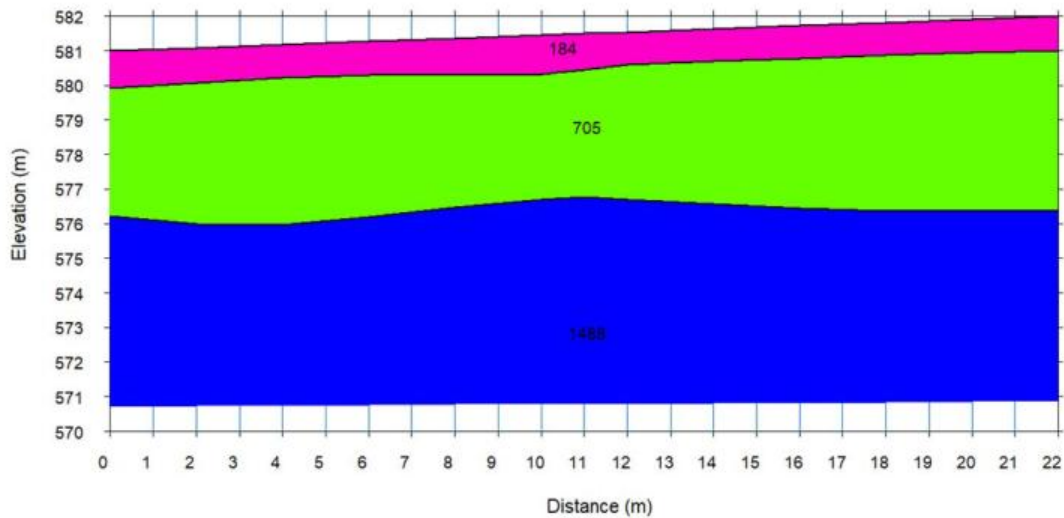
ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	184	1
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	112	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.61	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.19	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.21	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	40	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	15	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	20.32	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.20	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	
2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	697	4
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	358	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.51	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.65	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.32	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	560	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	212	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	521.04	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	13.36	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	10.60	
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1503	6
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	705	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.47	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	2.00	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.36	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	2710	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	996	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	3200.46	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	166.80	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	49.82	

პროფილი №12

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 0.9-1.1მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 184$ მ/წმ; $V_s = 113$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 3.5-4.5მ სიმძლავრის ფენი 2, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 705$ მ/წმ; $V_s = 367$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს ფენი 3, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 11მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 1488$ მ/წმ; $V_s = 706$ მ/წმ.



ნახ.14. სეისმოგეოლოგიური ჭრილი №12.

ცხრილი 13. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №12.

ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	V_p m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	184	1
	V_s m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	113	
	V_s/V_p	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.61	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.19	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.20	
	E_d Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	40	
	G_d MPa	ძვრის დინამიური მოდული	15	
	K_d Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	19.96	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.20	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	

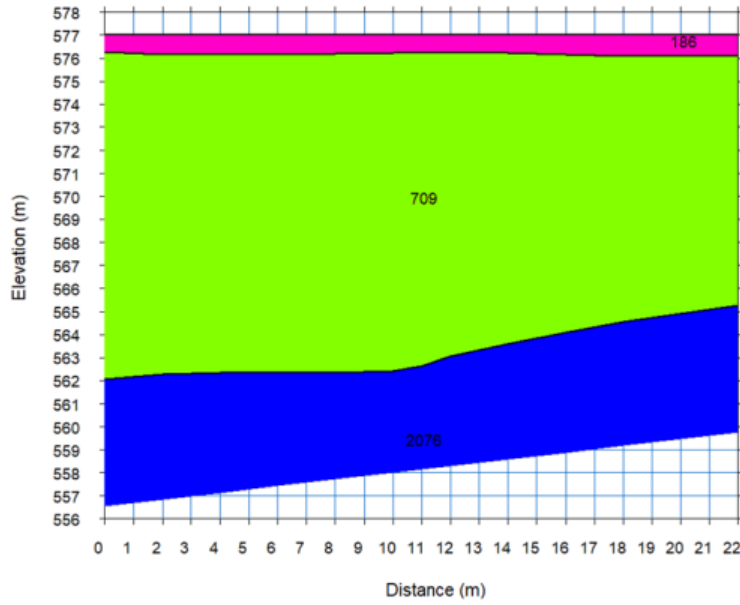
2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	705	4
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	367	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.52	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.66	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.31	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	590	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	223	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	526.70	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	14.53	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	11.17	
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1488	6
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	706	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.47	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	2.00	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.35	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	2700	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	997	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	3098.96	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	165.81	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	49.84	

პროფილი №13

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 0.7-0.9მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 186$ მ/წმ; $V_s = 115$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 11-14.3მ სიმაღლის **ფენი 2**, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 709$ მ/წმ; $V_s = 354$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს **ფენი 3**, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 17მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 207$ მ/წმ; $V_s = 972$ მ/წმ.



ნახ.15. სეისმოგეოლოგიური ჭრილი №13.

ცხრილი 14. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №13.

ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	186	0.8
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	115	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.62	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.19	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.19	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	40	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	16	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	20.17	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.20	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	
2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	709	12.5
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	354	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.50	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.66	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.33	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	560	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	208	

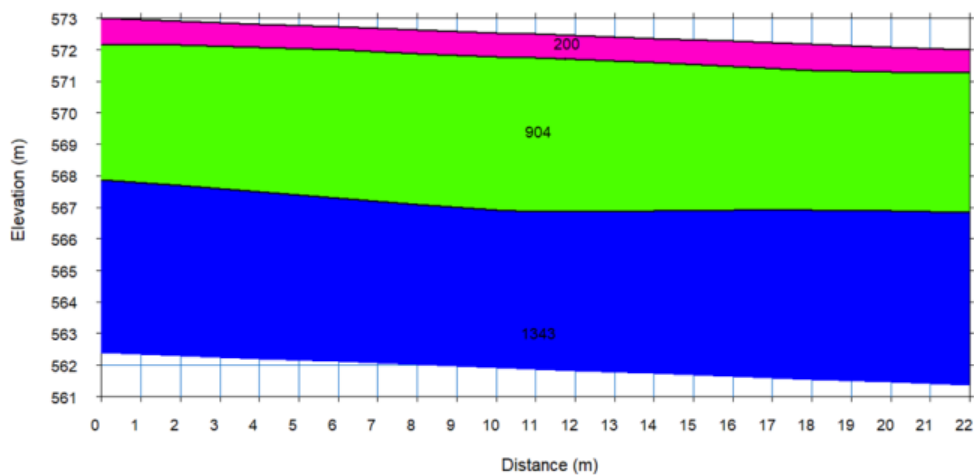
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	557.61	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	13.36	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	10.41	
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	2076	3.7
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	972	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.47	
	ρ gr/cm³	სიმკვრივე	2.17	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.36	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	5580	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	2054	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	6629.36	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	530.10	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	102.68	

პროფილი №14

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 0.6-0.9მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 200$ მ/წმ; $V_s = 123$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 4.1-4.4მ სიმაღლის **ფენი 2**, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 904$ მ/წმ; $V_s = 456$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს **ფენი 3**, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 10მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 1343$ მ/წმ; $V_s = 625$ მ/წმ.



ნახ.16. სეისმოგეოლოგიური ჭრილი №14.

ცხრილი 15. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №14.

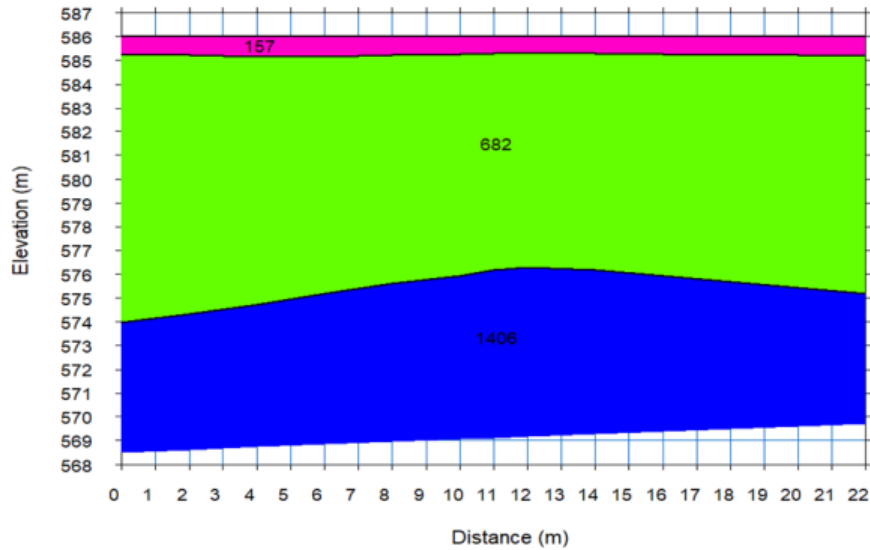
ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	200	0.8
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	123	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.62	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.21	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.20	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	40	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	18	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	24.01	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.20	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	
2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	904	4.2
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	456	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.50	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.77	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.33	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	980	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	367	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	953.38	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	32.73	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	18.36	
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1343	5
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	625	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.47	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.95	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.36	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	2070	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	761	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	2500.57	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	108.36	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	38.07	

პროფილი №15

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 0.7-0.9მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 157$ მ/წმ; $V_s = 96$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 9-11.3მ სიმძლავრის **ფენი 2**, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 682$ მ/წმ; $V_s = 347$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს **ფენი 3**, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 17მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 1406$ მ/წმ; $V_s = 638$ მ/წმ.



ნახ.17. სეისმოგეოლოგიური ჭრილი №15.

ცხრილი 16. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №15.

ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	157	0.8
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	96	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.61	
	ρ gr/cm³	სიმკვრივე	1.14	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.20	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	30	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	11	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	14.09	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.12	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	

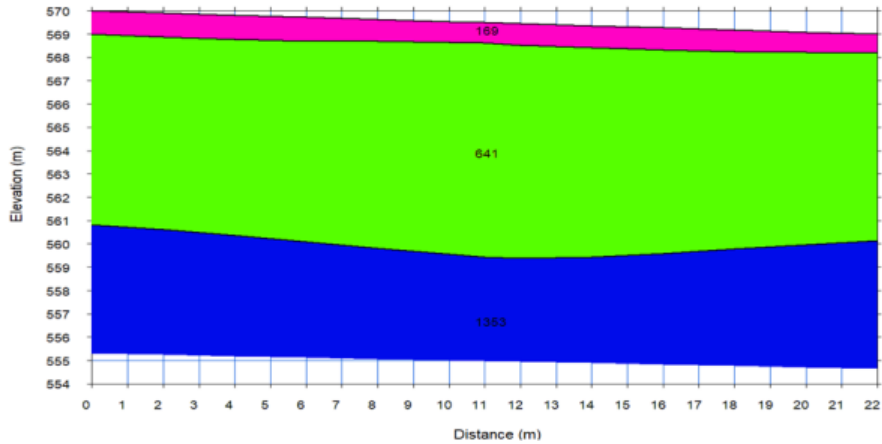
2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	682	10.5
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	347	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.51	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.65	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.33	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	530	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	198	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	501.19	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	12.23	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	9.91	
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1406	5.7
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	638	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.45	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.97	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.37	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	2200	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	803	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	2827.71	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	119.46	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	40.13	

პროფილი №16

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 0.6-1მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 169$ მ/წმ; $V_s = 102$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 7.5-8.5მ სიმაღლის **ფენი 2**, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 641$ მ/წმ; $V_s = 328$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს **ფენი 3**, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 15მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 135$ მ/წმ; $V_s = 615$ მ/წმ.



ნახ.18. სეისმოგეოლოგიური ჭრილი №16.

ცხრილი 17. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №16.

ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	169	0.8
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	102	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.60	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.16	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.21	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	30	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	12	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	17.05	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.12	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	
2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	641	8
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	328	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.51	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.62	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.32	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	460	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	174	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	433.30	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	9.75	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	8.72	

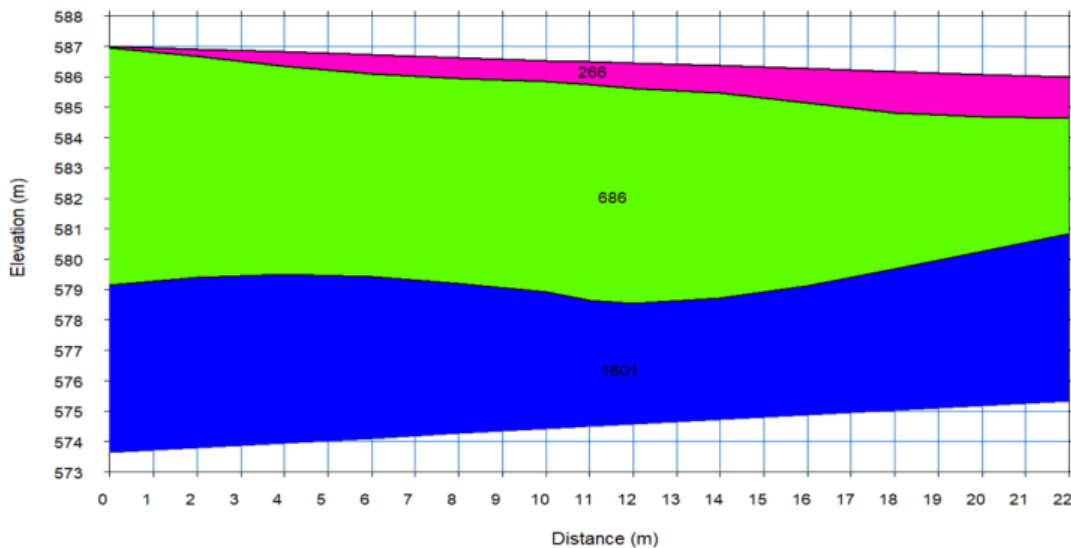
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1353	6.2
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	615	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.45	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.95	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.37	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	2020	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	739	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	2590.15	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	104.20	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	36.93	

პროფილი №17

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 0.1-1.3მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 266$ მ/წმ; $V_s = 162$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 3.8-7.8მ სიმძლავრის **ფენი 2**, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 686$ მ/წმ; $V_s = 342$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს **ფენი 3**, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 12მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 1601$ მ/წმ; $V_s = 759$ მ/წმ.



ნახ.19. სეისმოგეოლოგიური პროფილი №17.

ცხრილი 18. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №17.

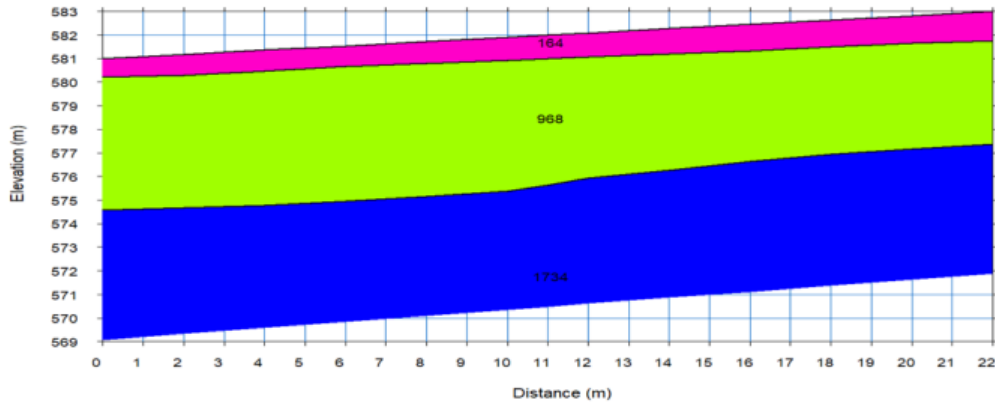
ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	266	0.6
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	162	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.61	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.30	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.21	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	80	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	34	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	46.51	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.59	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	
2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	686	6.5
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	342	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.50	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.65	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.33	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	510	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	193	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	518.51	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	11.50	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	9.64	
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1601	4.9
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	759	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.47	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	2.04	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.36	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	3180	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	1173	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	3656.29	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	215.47	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	58.67	

პროფილი №18

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 0.8-1.2მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 164$ მ/წმ; $V_s = 98$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 4.2-5.5მ სიმძლავრის ფენი 2, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 968$ მ/წმ; $V_s = 505$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს ფენი 3, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 12მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 1734$ მ/წმ; $V_s = 823$ მ/წმ.



ნახ.20. სეისმოგეოლოგიური ჭრილი №18.

ცხრილი 19. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №18.

ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	V_p m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	164	1
	V_s m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	98	
	V_s/V_p	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.60	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.15	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.22	
	E_d Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	30	
	G_d MPa	ძვრის დინამიური მოდული	11	
	K_d Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	16.24	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.12	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	
2	V_p m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	968	5
	V_s m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	505	
	V_s/V_p	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.52	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.80	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.31	

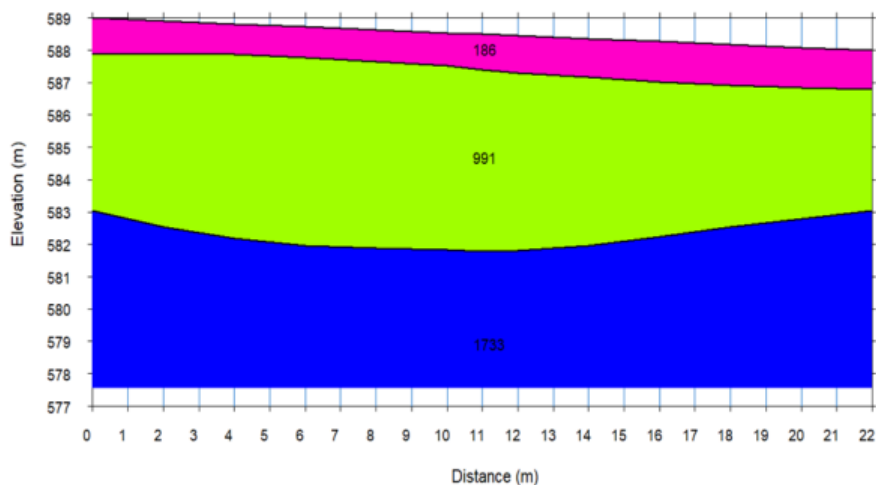
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	1200	6
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	458	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	1072.24	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	45.27	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	22.90	
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1734	
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	823	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.47	
	ρ gr/cm³	სიმკვრივე	2.08	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.35	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	3810	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	1407	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	4371.11	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	287.78	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	70.37	

პროფილი №19

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 0.9-1.1მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 186$ მ/წმ; $V_s = 115$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 3.8-5მ სიმძლავრის **ფენი 2**, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 991$ მ/წმ; $V_s = 495$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს **ფენი 3**, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 11მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 1733$ მ/წმ; $V_s = 817$ მ/წმ.



ნახ.21. სეისმოგეოლოგიური პროფილი №19.

ცხრილი 20. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №19.

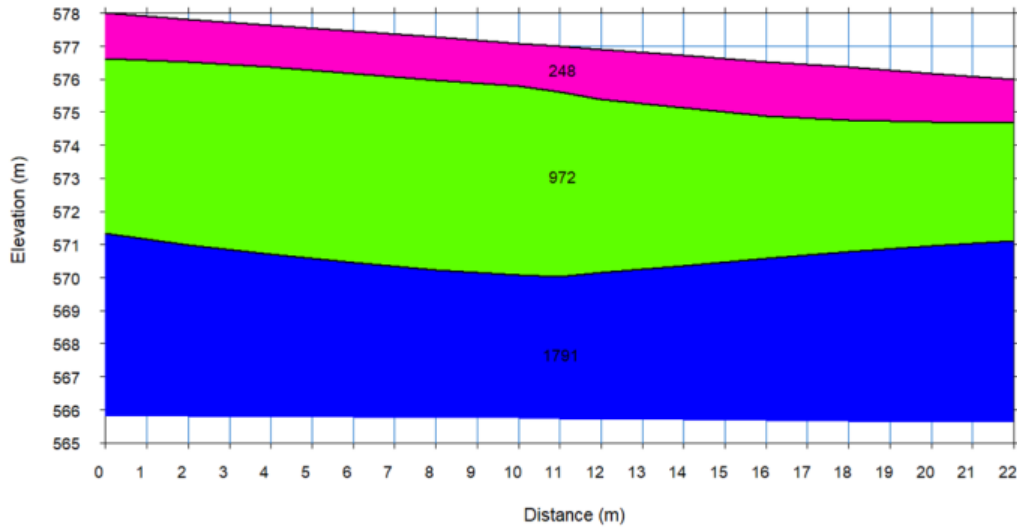
ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	186	1.1
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	115	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.62	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.19	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.19	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	40	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	16	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	20.17	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.20	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	
2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	991	5
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	495	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.50	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.81	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.33	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	1180	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	443	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	1184.04	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	44.06	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	22.13	
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1733	4.9
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	817	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.47	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	2.08	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.36	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	3760	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	1387	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	4390.53	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	281.76	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	69.34	

პროფილი №20

ფენი 1 ვრცელდება ზედაპირიდან 1.1-1.4მ-ის სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 248$ მ/წმ; $V_s = 148$ მ/წმ.

ფენი 1-ს ქვემოდან ესაზღვრება 3.4-5.3მ სიმძლავრის **ფენი 2**, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 972$ მ/წმ; $V_s = 492$ მ/წმ.

აღნიშნულ ფენს მოსდევს **ფენი 3**, რომელიც ჩვენი დაკვირვებით ვრცელდება 11მ სიღრმემდე, გრძივი და განივი ტალღების შემდეგი მნიშვნელობებით: $V_p = 1791$ მ/წმ; $V_s = 836$ მ/წმ.



ნახ.22. სეისმოგეოლოგიური ჭრილი №20.

ცხრილი 21. ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები პროფილისათვის №20.

ფენის N	პარამეტრი	პარამეტრის აღწერა	მნიშვნელობები	სიმძლავრე, მ
1	V_p m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	248	1.2
	V_s m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	148	
	V_s/V_p	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.60	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.28	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.22	
	E_d Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	70	
	G_d MPa	ძვრის დინამიური მოდული	28	
	K_d Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	41.27	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	0.48	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	-	

2	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	972	4.5
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	492	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.51	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	1.80	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.33	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	1160	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	435	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	1118.37	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	42.87	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	21.76	
3	Vp m/sec	გრძივი ტალღის სიჩქარე	1791	5.3
	Vs m/sec	განივი ტალღის სიჩქარე	836	
	Vs/Vp	სიჩქარეების თანაფარდობა	0.47	
	ρ gr/cm ³	სიმკვრივე	2.09	
	μ	პუასონის კოეფიციენტი	0.36	
	Ed Mpa	იუნგის დინამიური მოდული	3980	
	Gd MPa	ძვრის დინამიური მოდული	1464	
	Kd Mpa	ყოველმხრივი კუმშვის დინამიური მოდული	4767.25	
	D Mpa	საერთო დეფორმაციის მოდული	308.61	
	τ Mpa	სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე	73.20	

როგორც მოცემული ცხრილებიდან ჩანს, საკვლევ უბანზე ფენი 1-ში აღინიშნება გრძივი დრეკადი ტალღების სიჩქარეები 147-354 მ/წმ დიაპაზონში, ხოლო განივი ტალღების სიჩქარეები კი 88-215 მ/2მ დიაპაზონში.

ფენი 2-ში აღინიშნება გრძივი დრეკადი ტალღების სიჩქარეები 641-972 მ/წმ დიაპაზონში, ხოლო განივი ტალღების სიჩქარეები კი 326-505 მ/2მ დიაპაზონში.

ფენი 3-ში აღინიშნება გრძივი დრეკადი ტალღების სიჩქარეები 1318-2076 მ/წმ დიაპაზონში, ხოლო განივი ტალღების სიჩქარეები კი 612-972 მ/2მ დიაპაზონში.

დასკვნა

საკვლევ ტერიტორიაზე ჩატარდა სეისმური პროფილირება გარდატეხილი ტალღების მეთოდით. აიგო შესაბამისი სეისმოგეოლოგიური ჭრილები, განისაზღვრა დრეკადი გრძივი და განივი ტალღების გავრცელების სიჩქარეები. ასევე შეფასდა შესაბამისი ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები. ანგარიშში წარმოდგენილია ერთი 23 მ სიგრ-

ძის და 19 – 22 მ სიგრძის 20 სეისმური პროფილის ჭრილი, საერთო სიგრძით 441მ (ნახ.1). ცხრილი1-ში მითითებულია სეისმური პროფილების დასაწყისი და საბოლოო კოორდინატები WGS84 სისტემაში აბსოლუტურ სიმაღლეებთან ერთად.

გეოფიზიკური პარამეტრების მიხედვით გამოყოფილია სხვადასხვა საინჟინრო-გეოლოგიური ელემენტები (ფენები) და დადგენილია მათში V_p , V_s სიჩქარეების მნიშვნელობების განაწილება. შესაბამისი ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილებში 2-21 (ნახ.:3-22).

მიღებულ ჭრილებზე გეოფიზიკური მონაცემების მიხედვით უმთავრესად დაიკვირვება ფიზიკური თვისებებით განსხვავებული სამი ფენი (პირველ და მეორე ფენებში იდენტიფიკაცია განხორციელდა ჩვენს მიერ მიღებული გეოფიზიკური მასალისა და დამკვეთის მიერ მოწოდებული გეოლოგიური ინფორმაციის საფუძველზე, ხოლო მესამე ფენი მოცემულია იდენტიფიკაციის გარეშე):

ფენი 1 – ნიადაგის ფენი – თიხნარი ხრემის შემცველობით;

ფენი 2 – თიხნარი თაბაშირისა და ხრემის ელემენტების ჩანართებით;

ფენი 3 – შედარებით მაღალ სიჩქარიანი შრე.

როგორც მოცემული ცხრილებიდან ჩანს, საკვლევ უბანზე **ფენი 1**-ში აღინიშნება გრძივი დრეკადი ტალღების სიჩქარეები 147-354 მ/წმ დიაპაზონში, ხოლო განივი ტალღების სიჩქარეები კი 88-215 მ/2მ დიაპაზონში.

ფენი 2-ში აღინიშნება გრძივი დრეკადი ტალღების სიჩქარეები 641-972 მ/წმ დიაპაზონში, ხოლო განივი ტალღების სიჩქარეები კი 326-505 მ/2მ დიაპაზონში.

ფენი 3-ში აღინიშნება გრძივი დრეკადი ტალღების სიჩქარეები 1318-2076 მ/წმ დიაპაზონში, ხოლო განივი ტალღების სიჩქარეები კი 612-972 მ/2მ დიაპაზონში.

ლიტერატურა – References – Литература

- [1] Dortman N.B. Physical properties of rocks and minerals, 1984.
- [2] Горяинов Н.Н. Сейсмические методы в инженерной геологии. «Недра», 1979, 150с.
- [3] Kobayashi Y., Horike M. Analysis of seismic exploration data using ray method, J. Phys. Earth 35, 1987, p.127-141.
- [4] Majan A.K., Slob S., Ranjan R., Sporry R., Champati ray P.K., van Westen C.J. Seismic microzonation of Dehran City using geophysical and geotechnical characteristics in the upper 30 m.
- [5] Laster S., Backus M., Schell R. Analog model studies of the simple refraction problem. “Seismic refraction prospecting”. Tilsa, 1967, p.15-66.
- [6] Никитин В.Н. Основы инженерной сейсмоки. МГУ, 1981, 175с.
- [7] Media T. Hammer refraction seismic in engineering geophysics, “Geophysics”, v.34, № 3, 1969, pp. 383-395.
- [8] Savich A.I., Kuiyndjich B.D. Complex-engineering research in building hydraulic facilities, 1990.
- [9] Sheriff R., Geldart L. Exploration Seismology, Mir, Moscow, v.1 and 2, 1987, 900 p.
- [10] Earthquake motion and ground conditions, The Architectural Institute of Japan (AIJ), 1993, 595 p.
- [11] International Building code, International code council, INC, USA, 2006, 680 p.
- [12] Mohamed A. M. E., Abu El-Ata, A. S. A., Abdel Azim, F., Taha, M. A. Site-specific shear wave velocity investigation for geotechnical engineering applications using seismic refraction and 2D Multi-channel Analysis of Surface Waves. NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics, 2013: 2, pp. 88-101.
- [13] Gercek H. "Poisson's ratio values for rocks". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 44(1), January 2007, pp. 1–13.

მარნეულის რაიონის, იაღლუჯა არსებული სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების მიწის ნაკვეთის ტერიტორიის გამოკვლევა სეისმოპიების მეთოდებით

გიგებერია მ., ქირია ჯ., ღლონტი ნ.

რეზიუმე

ჩატარდა სეისმური პროფილირება გარდატეხილი ტალღების მეთოდით, აიგო შესაბამისი სეისმოგეოლოგიური ჭრილები, განისაზღვრა დრეკადი გრძივი და განივი ტალღების გავრცელების სიჩქარეები. ასევე შეფასდა შესაბამისი ფიზიკურ-მექანიკური პარამეტრების მნიშვნელობები. ნაშრომში წარმოდგენილია ერთი 23 მ სიგრძის და 19 – 22 მ სიგრძის, სულ 20 სეისმური პროფილის ჭრილი, საერთო სიგრძით 441 მ.

საკვანძო სიტყვები: სეისმური პროფილირება, გარდატეხილი ტალღების მეთოდი, სეისმოლოგიური ჭრილები.

INVESTIGATION OF THE TERRITORY OF THE EXISTING AGRICULTURAL PLOT OF LAND IN YAGLUJA, MARNEULI DISTRICT, USING SEISMIC METHODS

Gigiberia M., Kiria J., Ghlonti N.

Abstract

Seismic profiling was carried out using the method of refracted waves, appropriate seismological sections were taken, and the propagation velocities of elastic longitudinal and transverse waves were determined. Values of relevant physical-mechanical parameters were also evaluated. The paper presents one 23 m long and 19 – 22 m long, a total of 20 seismic profile cuts, with a total length of 441 m.

Key words: seismic profiling, refracted wave method, seismological sections.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО ЗЕМЕЛЬНОГО УЧАСТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ЯГЛУДЖЕ МАРНЕУЛЬСКОГО РАЙОНА СЕЙСМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Гигиберия М., Кириа Дж., Глонти Н.

Реферат

Проведено сейсмическое профилирование методом преломленных волн, сняты соответствующие сейсмологические разрезы и определены скорости распространения упругих продольных и поперечных волн. Также были оценены значения соответствующих физико-механических параметров. В статье представлены: один разрез длиной 23 метра и 19 разрезов по 22 метра, всего 20 разрезов сейсмического профиля общей длиной 441 метр.

Ключевые слова: сейсмическое профилирование, метод преломленных волн, сейсмологические разрезы.

**საქართველოს ხელოვნების ეროვნული მუზეუმის ცენტრალური
შესასვლელთან მიმდებარე ტერიტორიაზე მდებარე ხეების
შესაძლო გავლენის შესწავლა, გეოფიზიკური მეთოდებით,
შენობის ფასადის მხარეს მდებარე ფუნდამენტზე**

**ოდილაგაძე დ., ვარამაშვილი ნ., ჭელიძე თ., ღლონტი ნ.,
ქირია ჯ., თარხან-მოურავი ა.**

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

1. შესავალი

ხელოვნების მუზეუმის ცენტრალურ შესასვლელთან მდებარეობს მრავალწლიანი ჭადრის ორი ხე, რომელთა ფესვთა სისტემის გავლენა მათგან ფუნდამენტის უახლოეს ნაწილზე შესაძლოა დესტრუქციული აღმოჩნდეს.

მუზეუმის თხოვნის შესაბამისად, მათთვის დახმარების აღმოსაჩენად, თსუ გეოფიზიკის ინსტიტუტმა ამ საკითხის გასარკვევად ჩაატარა მცირე ფორმატის გეოფიზიკური კვლევა გეორადიოლოკაციური და აკუსტიკური მეთოდების კომპლექსური გამოყენებით.

გეორადიოლოკაციის მეთოდი გამიზნულია ახლოკვებუდაპირულ სიღრმეებზე (0-50მ) მიწისქვეშა ფენების აგებულების შესასწავლად. მისი საშუალებით შესაძლებელია სხვადასხვა დიელექტრიკული განვლადობის გარემოში, არსებული გარემოს მიმართ არაერთგვაროვანი ანომალიების [1], სიცარიელების [2], დაფარული ობიექტების სტრუქტურისა [3,4,5], მათი ლოკაციის გამოყოფა და დაფიქსირება. შესაძლებელია ასევე გარემოს დატენიანების ხარისხის განსაზღვრა [6] და მეწყრული პროცესების შესწავლა [7]. გეორადიოლოკაციის მეთოდით მიწისქვეშა ფენების სხვადასხვა სიღრმეებზე შესასწავლად გამოიყენება სხვადასხვა სიხშირის ანტენები. დაფარული ობიექტების რადიოსახეების შესასწავლად გამოიყენება გეორადიოლოკაციური ველების ფიზიკური მოდელირების მეთოდი [1,2,3,4,5].

აკუსტიკური მეთოდი ეფექტურია მეწყრული პროცესების დეტექტირებისა და ადრეული შეტყობინების სისტემაში გამოყენებისათვის [8,9]. ულტრაბგერითი მეთოდი გამოიყენება სხვადასხვა გარემოს შინაგანი სტრუქტურის ვიზუალიზაციისათვის, ასევე სამედიცინო მიზნით, სხვადასხვა ტექნოლოგიური პროცესების კონტროლისა და მართვისათვის [10]. ეფექტური მეთოდია სხვადასხვა შენობა-ნაგებობების მექანიკური პარამეტრების შესწავლისათვის მათი მდგრადობის დასადგენად [11].

გეორადიოლოკაციური მეთოდი ელექტრომიების მეთოდებთან კომპლექსში საინტერესო შედეგებს იძლევა გარემოს დატენიანების შეფასებისათვის, მეწყრული პროცესების და სხვა გეოფიზიკური მოვლენების შესასწავლად [5,6,7]. ჩვენთვის საინტერესოა გეორა-

დიოლოკაციური და ულტრაბგერითი მეთოდებით კომპლექსური კვლევა და მისი ეფექტურობის განსაზღვრა.

გეორადიოლოკაციური და ულტრაბგერითი მეთოდებით კომპლექსური კვლევა წარმოდგენილი იყო ჩვენი ნაშრომში [12]. ჩვენი ნაშრომი წარმოადგენს აღნიშნული სტატიის [12] გაგრძელებას და მის გაფართოებულ ვარიანტს.

2. გეორადიოლოკაციური სამუშაოები

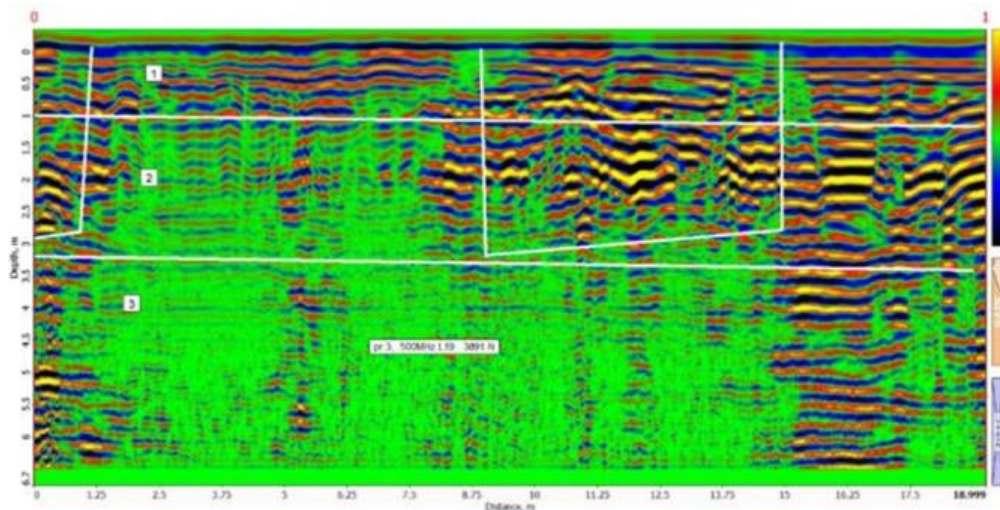
გეორადიოლოკაციური სამუშაოები შესრულდა 14 გეორადიოლოკაციურ (8 პარალელურ და 6 მართობულ) პროფილზე, ამასთან, გამოყენებულ იქნა გეორადარ Zond 12e თავისი საშტატო მაღალი სიხშირის 500 მჰც ეკრანირებული და 2 გჰც ზემოდალი სიხშირის ანტენები, გეორადარული მონაცემები შეკრებილ და დამუშავებულ იქნა საშტატო კომპიუტერული პროგრამული უზრუნველყოფით Prizm 2.7.

ამოცანა მდგომარეობდა ჭადრის ხის ფესვთა სისტემის შესაძლო დაფიქსირებაში შენობის ფონდამენტთან მახლობლად მდებარე ახლოქვეზედაპირული განლაგების სივრცეში.

შესრულებულ გეორადიოლოკაციურ სამუშაოებიდან მოგვაქვს, ჩვენი აზრით მნიშვნელოვანი, ფუნდამენტის გასწვრივი ორი პარალელური პროფილი 500 მჰც და 2 გჰც ანტენებისთვის, რომლებიც განსაზღვრავენ ჩაწვდენის შესაბამის სიღრმეებსა და დაფარულ ობიექტთა გარჩევის უნარიანობას.

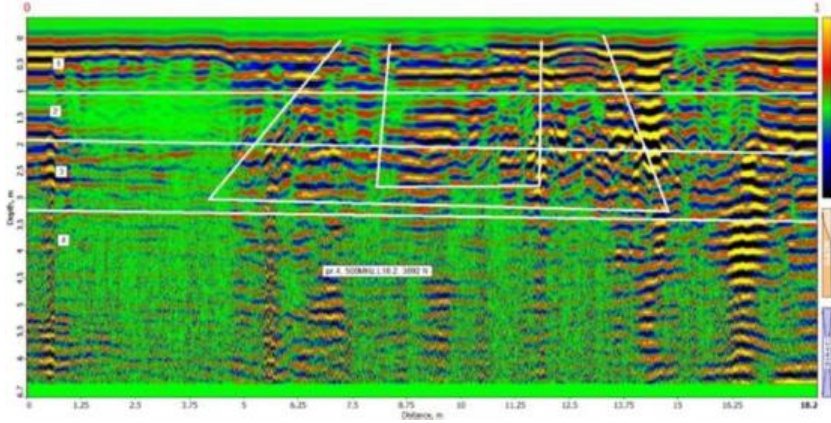


ნახ.1. წარმოდგენილია გეორადიოლოკაციური მეთოდით პროფილირების შესრულების ფოტო გეორადარის ეკრანირებული 500 მჰც მიმღებ-გადამცემი ანტენის გამოყენებით.



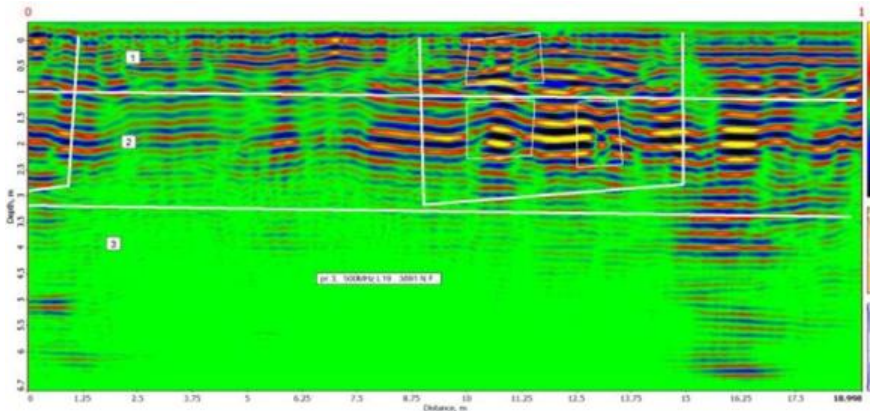
ნახ.2. წარმოდგენილი რადაროგრამა გადის კედლის პარალელურად 1.2 მ ის დაშორებით და შესრულებულია 500 მჰც ანტენით, გეორადარული ჭრილის 19 მ სიგრძის პროფილზე, სიღრმით-7 მ.

ნახ.2-ზე წარმოდგენილ გეორადარულ ჭრილზე გამოიკვეთა სამი გეოელექტრული ფენა. 1, 2 და 3 ფენა შეესაბამება 7 მ სიმძლავრეს, გამოყოფა მოხდა ელექტრომაგნიტური ტალღების სინფაზურობის ღერძების ტექსტურის მიხედვით. მონიშნულია გეორადიოლოკაციური ანომალია 9-15 მ დისტანციებზე, რომლის რადიოსახე შეესაბამება მარცხენა ჭადრის ფესვთა სისტემის განთავსების არაერთგვაროვან არეს, რომელიც ვრცელდება დღიური ზედაპირიდან 3 მ სიღრმემდე. მარჯვენა ჭადრის გავლენა მცირედ ფიქსირდება 0-1.25 მ დისტანციებზე და სიღრმით არაუმეტეს 3 მ, მისი გავლენა, ფუნდამენტის მიმართ პრაქტიკულად აცდენილია. რადაროგრამაზე გეორადიოლოკაციური ანომალიების ნაწილის და გეოელექტრული ფენების რადიოსახეები მონიშნულია თეთრი წირებით.



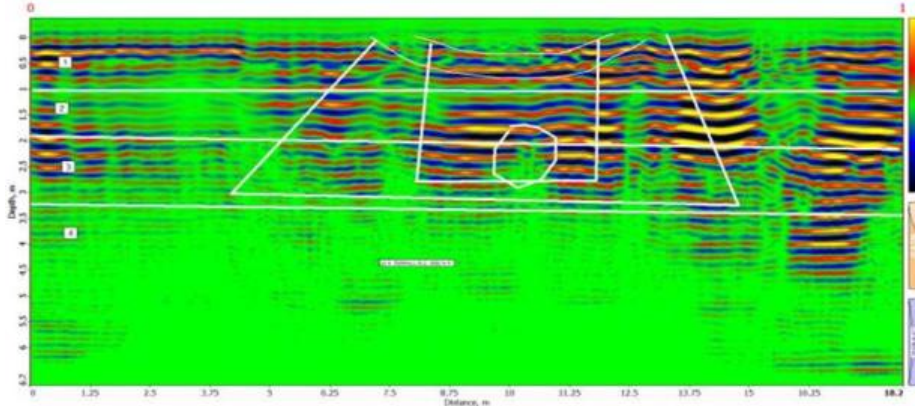
ნახ.3. წარმოდგენილი რადაროგრამა გადის კედლის პარალელურად 0.1 მ-ის დაშორებით და შესრულებულია 500 მჰც ანტენით, გეორადარული ჭრილის 18.2 მ სიგრძის პროფილზე, სიღრმით – 7 მ.

ნახ.3-ზე წარმოდგენილ გეორადარულ ჭრილზე გამოიკვეთა ოთხი გეოელექტრული ფენა. 1, 2, 3 და 4 ფენა შეესაბამება 7 მ სიმძლავრეს, გამოყოფა მოხდა ელექტრომაგნიტური ტალღების სინფაზურობის ღერძების ტექსტურის მიხედვით. მონიშნულია გეორადიოლოკაციური ანომალია 5-15 მ დისტანციებზე, რომლის რადიოსახე შეესაბამება მარცხენა ჭადრის ფესვთა სისტემის განთავსების არაერთგვაროვან არეს, რომელიც ვრცელდება დღიური ზედაპირიდან 3 მ სიღრმემდე. მარჯვენა ჭადრის გავლენა არ ფიქსირდება. მისი გავლენა, ფუნდამენტის მიმართ არა არსებითია. რადაროგრამაზე გეორადიოლოკაციური ანომალიების ნაწილის და გეოელექტრული ფენების რადიოსახეები მონიშნულია თეთრი წირებით.



ნახ.4. წარმოდგენილი რადაროგრამა გადის კედლის პარალელურად 1.2 მ-ის დაშორებით და შესრულებულია 500 მჰც ანტენით, გეორადარული ჭრილის 19 მ სიგრძის პროფილზე, სიღრმით – 7მ. რადაროგრამა დამატებით დამუშავებულია ფურიეს გარდაქმნის ოპციით, გამოიყო რადიოსახეების შესაბამისი ობიექტების შესაძლო რაობა და ლოკაცია.

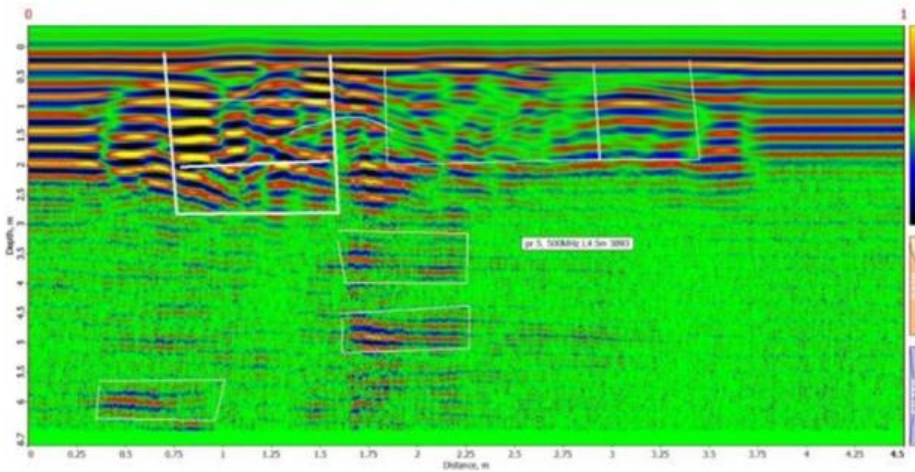
ფუნდამენტზე გავლენის უნარის მქონე ფესვთა სისტემის სახე მინიმალურია, იკვეთება მიწისქვეშა კომუნიკაციების რადიოსახეები.



ნახ.5. წარმოდგენილი რადაროგრამა გადის კედლის პარალელურად 0.1 მ-ის დაშორებით და შესრულებულია 500 მჰც ანტენით, გეორადარული ჭრილის 18.2 მ სიგრძის პროფილზე, სიღრმით – 7მ. რადაროგრამა დამატებით დამუშავებულია ფურიეს გარდაქმნის ოპციით, გამოიყო რადიოსახეების შესაბამისი ობიექტების შესაძლო რაობა და ლოკაცია.

ფუნდამენტზე გავლენის უნარის მქონე ფესვთა სისტემის სახე მინიმალურია, იკვეთება მიწისქვეშა კომუნიკაციების რადიოსახეები, ასევე შესაძლო ფესვთა, ფუნდამენტისადმი მოგეზილობის აცდენა, 10-11 მ დისტანციებზე და სიღრმეებზე 2-2.5 მ, რასაც შესაძლოა ხელი შეუშალა მიწისქვეშა ზღუდემ.

ამრიგად, ფუნდამენტზე ნეგატიური გავლენის მქონე ფესვთა სისტემის არსებობა ფუნდამენტის უშუალო მახლობლობაში არ დაიმზირება.



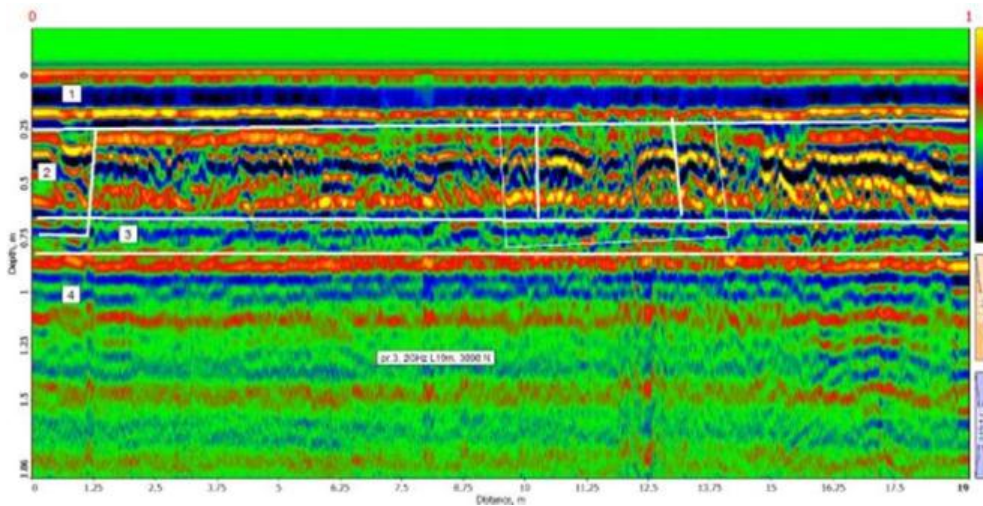
ნახ.6. წარმოდგენილია პროფ. 5, მოგეზილი მართობულად 1-4 პროფილების მიმართ და გადის მარჯვენა ჭადრის განთავსების მახლობლად 0.8 მ დაშორებით ვარჯისგან. გეორადიოლოკაციური ანტენა- 500 მჰც სიხშირე.

პრ. 5-ის ინტერპრეტაციიდან გამოვყოფთ ქვა-ყუთის დამახასიათებელ რადიოსახეს. ე.წ. „ბოუ-თაის“, რომელიც გამოიკვეთა 0.75-1.5 მ დისტანციებზე 2-2.5 მ დაღრმავებით, ის გართულებულია ახლო მდებარე ანომალიებით. გამოყოფილია ძლიერი ამრეკლადობის ვერტიკალური ზღუდეები 0.8 და 1.6 მ დისტანციებზე. სუსტად გამოიყო მეორე ბოუ-თაი,

ანუ ორმოს ტიპის სდრუე, შესაძლოა შევსებული განსხვავებული მასალით, 2-3 მ დისტანციებზე. მსგავსი რადიოსახეები მეტ-ნაკლები სიცხადით, გართულებებით, დაფიქსირდა მეორე ჭადრის მახლობლად პროფილებზე.

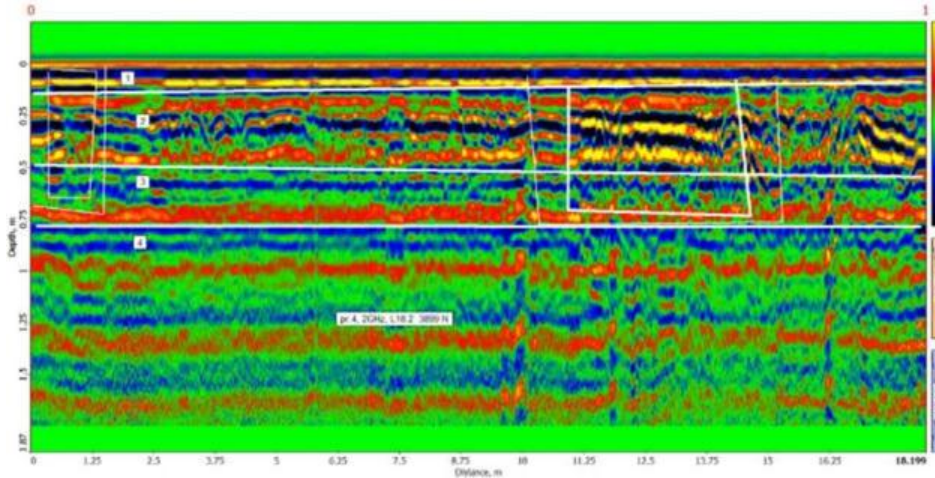


ნახ.7. წარმოდგენილია გეორადიოლოკაციური მეთოდით პროფილების შესრულების ფოტო გეორადარისზე მაღალი 2 გჰც მიმღებ-გადამცემი ანტენის გამოყენებით.



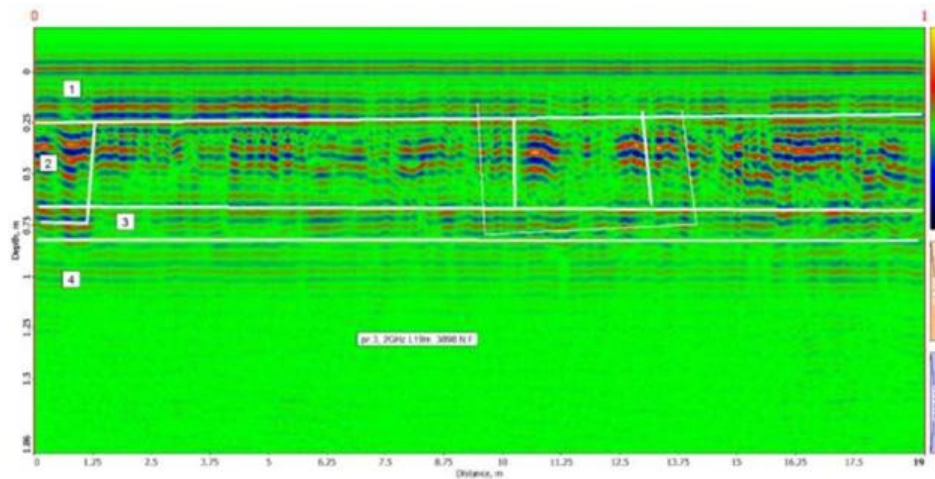
ნახ.8. 2 გჰც მიმღებ-გადამცემი ანტენის მოქმედებით წარმოდგენილ გეორადარულ ჭრილზე გამოიკვეთა ოთხი გეოელექტრული ფენა. დაშორება შენობიდან 1.2 მ.

1, 2, 3 და 4 ფენა (ნახ. 8) შეესაბამება 2 მ სიმძლავრეს, გამოყოფა მოხდა ელექტრომაგნიტური ტალღების სინფაზურობის ღერძების ტექსტურის მიხედვით. მონიშნულია გეორადიოლოკაციური ანომალია 10-14 მ დისტანციებზე, რომლის რადიოსახე შეესაბამება მარცხენა ჭადრის ფესვთა სისტემის განთავსების არაერთგვაროვან არეს, რომელიც ფიქსირდება დღიური ზედაპირიდან 1მ სიღრმემდე. მარჯვენა ჭადრის მიმდებარე ზღუდე ფიქსირდება 0-1.25მ დისტანციებზე და სიღრმით არაუმეტეს 0.75 მ, მისი გავლენა, ფუნდამენტის მიმართ პრაქტიკულად აცდენილია. რადაროგრამაზე გეორადიოლოკაციური ანომალიების ნაწილის და გეოელექტრული ფენების რადიოსახეები მონიშნულია თეთრი წირებით.



ნახ.9. 2 გჰც მიმღებ-გადამცემი ანტენის მოქმედებით წარმოდგენილ გეორადარულ ჭრილზე გამოიკვეთა ოთხი გეოელექტრული ფენა. დაშორება შენობიდან 0.1 მ.

1, 2, 3 და 4 ფენა (ნახ.9) შეესაბამება 2 მ სიმძლავრეს, გამოყოფა მოხდა ელექტრომაგნიტური ტალღების სინფაზურობის ღერძების ტექსტურის მიხედვით. მონიშნულია გეორადიოლოკაციური ანომალია 10-14მ დისტანციებზე, რომლის რადიოსახე შეესაბამება მარცხენა ჭადრის ფესვთა სისტემის განთავსების არაერთგვაროვან არეს, რომელიც ფიქსირდება დღიური ზედაპირიდან 1 მ სიღრმემდე. მარჯვენა ჭადრის მიმდებარე ზღუდე სუსტად ფიქსირდება 0-1.25მ დისტანციებზე და სიღრმით არაუმეტეს 0.75მ, მისი გავლენა, ფუნდამენტის მიმართ პრაქტიკულად აცდენილია. რადაროგრამაზე გეორადიოლოკაციური ანომალიების ნაწილის და გეოელექტრული ფენების რადიოსახეები მონიშნულია თეთრი წირებით.

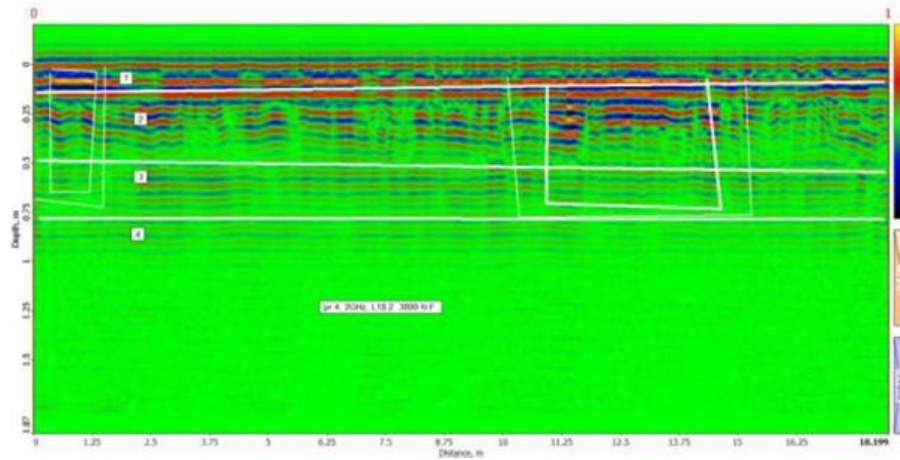


ნახ.10. წარმოდგენილი რადაროგრამა გადის კედლის პარალელურად 1.25 მ – ის დაშორებით და შესრულებულია 2 გჰც ანტენით, გეორადარული ჭრილის 19 მ სიგრძის პროფილზე, სიღრმით – 2მ. რადაროგრამა დამატებით დამუშავებულია ფურიეს გარდაქმნის ოპციით, გამოიყო რადიოსახეების შესაბამისი ობიექტების შესაძლო რაობა და ლოკაცია.

ნახ.10-ზე წარმოდგენილი რადაროგრამა გადის კედლის პარალელურად 1.25 მ-ის დაშორებით და შესრულებულია 2 გჰც ანტენით, გეორადარული ჭრილის 19 მ სიგრძის პრო-

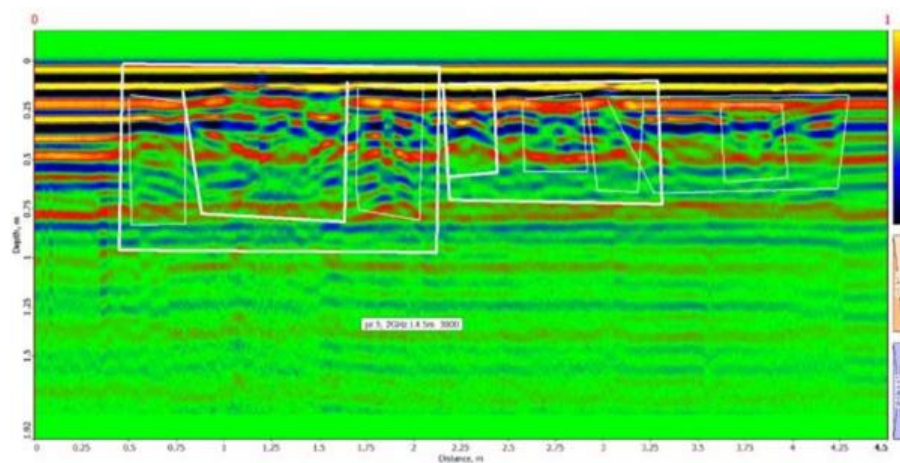
ფილზე, სიღრმით – 2 მ. რადაროგრამა დამატებით დამუშავებულია ფურიეს გარდაქმნის ოპციით, გამოიყო რადიოსახეების შესაბამისი ობიექტების შესაძლო რაობა და ლოკაცია.

ფუნდამენტზე გავლენის უნარის მქონე ფესვთა სისტემის სახე 1 მ-დე სიღრმეებისთვის მინიმალურია.



ნახ.11. წარმოდგენილი რადაროგრამა გადის კედლის პარალელურად 0.1 მ-ის დაშორებით და შესრულებულია 2 გჰც ანტენით, გეორადარული ჭრილის 18.2 მ სიგრძის პროფილზე, სიღრმით – 2მ.

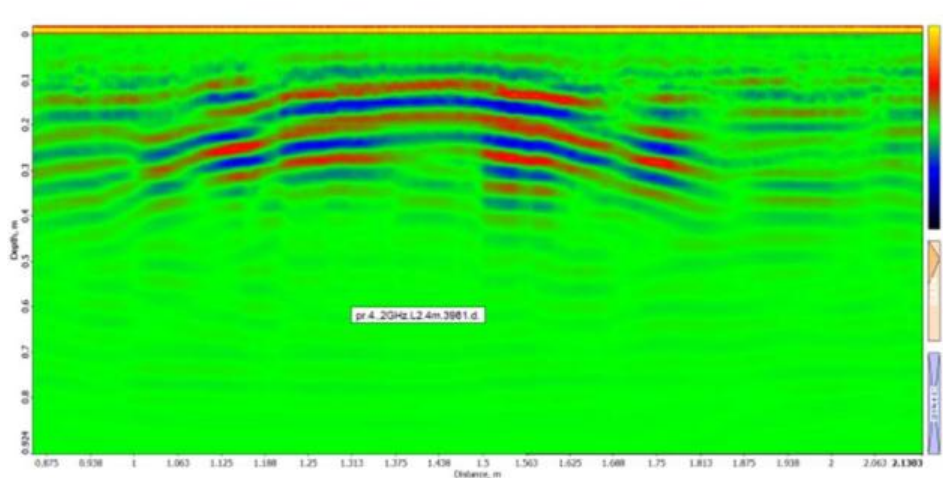
რადაროგრამა დამატებით დამუშავებულია ფურიეს გარდაქმნის ოფციით. გამოიყო რადიოსახეების შესაბამისი ობიექტების შესაძლო რაობა და ლოკაცია. ფუნდამენტზე გავლენის უნარის მქონე ფესვთა სისტემის სახე 1 მ-დე სიღრმეებისთვის უმნიშვნელოა.



ნახ.12. წარმოდგენილია პროფ-5, მოგეზილი მართობულად 1-4 პროფილების მიმართ და გადის მარჯვენა ჭადრის განთავსების მახლობლად 0.8 მ დაშორებით ვარჯისგან. გეორადიოლოკაციური ანტენა- 2 მჰც სიხშირე.

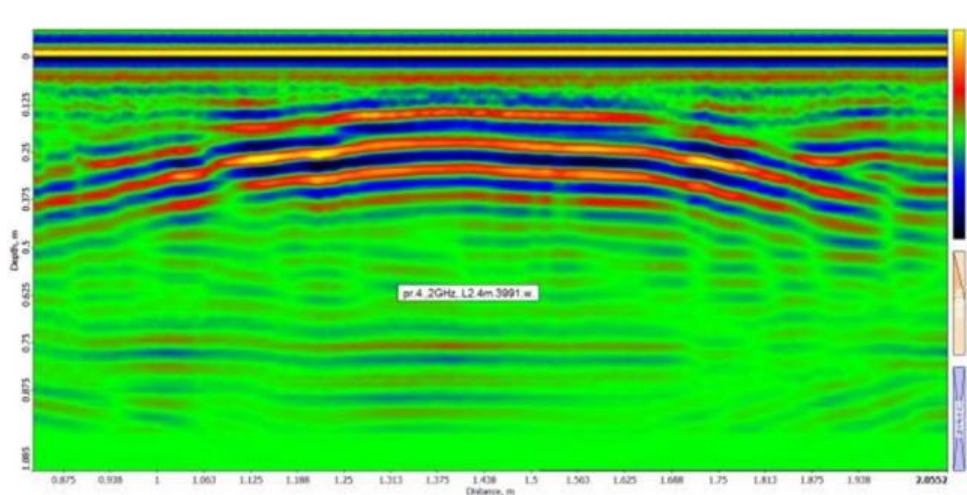
ნახ.12-ის ინტერპრეტაციიდან გამოვყოფთ ქვა-ყუთის დამახასიათებელ რადიოსახეს ე.წ. „ბოუ-თაის“, რომელიც გამოიკვეთა 0.5-2 მ დისტანციებზე 1 მ დაღრმავებით, რომელიც გართულებულია ახლომდებარე ანომალიებით. გამოყოფილია ამრეკლადობის ვერტიკალური ზღუდეები 0.5-0.8 და 1.75-2 მ-ის დისტანციებზე. გამოიყო მეორე „ბოუ-თაი“, ანუ ორმოს ტიპის სიღრუე, 2.25-3.25მ დისტანციებზე. მსგავსი რადიოსახეები მეტ-ნაკლების სიცხადით, გართულებებით, დაფიქსირდა მეორე ჭადრის მახლობლად პროფილებზე.

ფესვთა რადიოსახეების დასაზუსტებლად შესრულდა ელექტრომაგნიტური ველების ფიზიკური მოდელირების[1,2,3,] გეორადიოლოკაციური სამოდელო კვლევა 5 სმ დიამეტრის ხის ტოტების გადანაჭერი მშრალი და დატენიანებული ნიმუშებისთვის. ქვემოთ მოგვყავს მათი რადიოსახეები 2 გჰც გეორადიოლოკაციური ანტენის გამოყენებით შვიდი პარალელური პროფილიდან ცენტრალური პროფილებისთვის შესრულებული რადაროგრამებიდან.



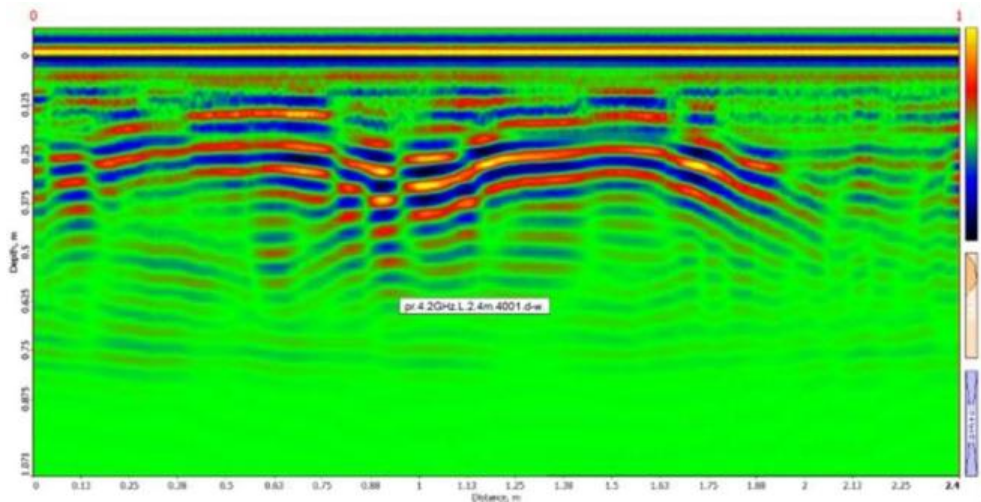
ნახ.13. წარმოდგენილია რადაროგრამა ხის გადანაჭერი 5 სმ მშრალი კუნძისთვის, პროფილის სიგრძე 2.4 მ.

ნახ.13-დან იკვეთება სინფაზურობის ღერძების ჰიპერბოლა, რომელთა წვერშიც ფიქსირდება 1.5 მ დისტანციაზე 7 სმ სიღრმეზე ნიმუშის განთავსების ლოკაცია. ნიმუშის რადიოსახე შეესაბამება ნიმუშის ლოკაციას.



ნახ.14. წარმოდგენილია რადაროგრამა ხის გადანაჭერი 14 სმ დატენიანებული კუნძისთვის, პროფილის სიგრძე 2.4 მ.

ნახ.14-დან იკვეთება სინფაზურობის ღერძების მკაფიოდ გამოხატული ჰიპერბოლა, რომელთა წვერშიც ფიქსირდება 1.5 მ დისტანციაზე 14 სმ სიღრმეზე ნიმუშის განთავსების ლოკაცია. ნიმუშის რადიოსახე შეესაბამება ნიმუშის ლოკაციას.



ნახ.15. წარმოდგენილია რადაროგრამა ხის მშრალი და დატენიანებული ნიმუშის გადანაჭრებისათვის 2 მჰც სიხშირის გეორადიოლოკაციური ანტენის გამოყენებით, პროფილის სიგრძე 2.4 მ.

ნახ.15 რადაროგრამიდან იკვეთება მშრალი და დატენიანებული ხის გადანაჭერი 5 სმ სისქის ნიმუშებისთვის ნაკლებად მკაფიოდ მშრალისთვის და უფრო მკაფიოდ დატენიანებული ნიმუშის რადიოსახეები. ნიმუშთა განთავსების ლოკაცია შეესაბამება რადიოსახეებით მათ დაფიქსირებულ მდებარეობას.

5 სმ დიამეტრის ხის ფესვის იმიტაციისთვის გამოყენებული ხის ტოტის 5 სმ გადანაჭერი ნიმუში მკაფიოდ გამოხატულ რადიოსახეებს იძლევა, რაც არ დაფიქსირებულა შენობის ფუნდამენტთან გატარებულ პროფილებზე. ამრიგად, შეიძლება ითქვას რომ ფუნდამენტთან უშუალო სიახლოვეში ფესვთა გავლენა მინიმალურია და უხიფათოა ნაგებობისთვის მიწისქვეშა დაზიანების თვალსაზრისით.

ულტრაბგერითი სამუშაოები

როგორც მსოფლიო გეოფიზიკურ საზოგადოებაში აპრობირებული, სხვადასხვა საინჟინრო და საყოფაცხოვრებო ამოცანების გადასაწყვეტად, ნაგებობების და მათი ინფრასტრუქტურის მდგომარეობის შეფასება-გამოკვლევისა და სარესტავრაციო სამუშაოების მიზანდასახულად განხორციელებისთვის, სულ უფრო ხშირად გამოიყენება გეოფიზიკურ მეთოდებს.

ჩვენს მიერ გეოფიზიკური სამუშაოების შესასრულებლად გამოყენებული იქნა შვეიცარიული კომპანიის (PROCEQ, <https://www.proceq.com/>) მიერ წარმოებული ულტრაბგერითი აპარატურა, რომლის სახელწოდება არის Pundit PL-200 და Pundit PL-200PE.

იმპულსური ექო გადამწოდი (Pulse Echo Transducer) – Pundit PL-200PE

იმპულსური ექო გადამწოდი წარმოადგენს ულტრაბგერითი ტალღების გადამწოდს. მისი საშუალებით შეიძლება ჩატარდეს რამდენიმე ტიპის ტესტირება (სკანირება):

B-Scan

სკანირებული ზედაპირის მართობული კვეთის შესწავლა. იგი ხელს უწყობს მილების, ბზარების, სიცარიელების და ა.შ. ძებნას.

A-Scan

უშუალოდ სიგნალის პირდაპირი ანალიზის საშუალებას იძლევა. აქვს სისქის ავტომატური წაკითხვა (ექო ტრეკერი).

Area Scan

შესასწავლი ობიექტის სიჩქარის ან სისქის მნიშვნელობები, ზედაპირის კონტურული რუკის სახით

ულტრაბგერითი სამუშაოების ჩატარების შედეგად მიღებული ტალღური და ტომოგრაფიული სურათების დამუშავება და ვიზუალიზაცია შესრულდა **Pundit – 200** და **Pundit – 20PE**-ს სამუშაო პროგრამის “**PL-Link**”საშუალებით.

დასახული ტექნიკური სამუშაოების შესასრულებლად დაისახა სამუშაო გეგმა, რომლის მიზანსაც წარმოადგენდა ხელოვნების მუზეუმის მთავარი შესასვლელის წინ არსებული ორი ჭადრის მიმდებარე მიდამოს შესწავლა, ჭადრების ფესვების სიდრმისეული გავრცელების მიზნით. წარმოდგენილი ულტრაბგერითი ხელსაწყო (**Pundit – 200** და **Pundit – 20PE**) არაა გათვალისწინებული მსგავსი ტიპის სამუშაოების შესასრულებლად, მაგრამ ჩვენ ვცადეთ დასახული სამუშაოს შესრულება, რათა შეგვეფასებინა ჩვენი ხელსაწყოს შესაძლებლობები.

სამუშაოები ჩავატარეთ ტომოგრაფიის (**B-Scan**) მეთოდით (ნახ.16).

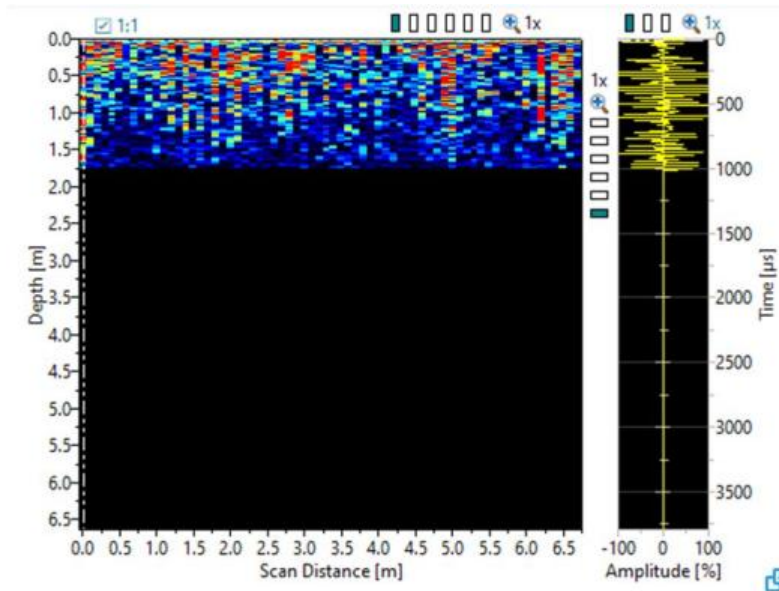


ნახ.16. ულტრაბგერითი ხელსაწყო **Pundit – 200PE**.

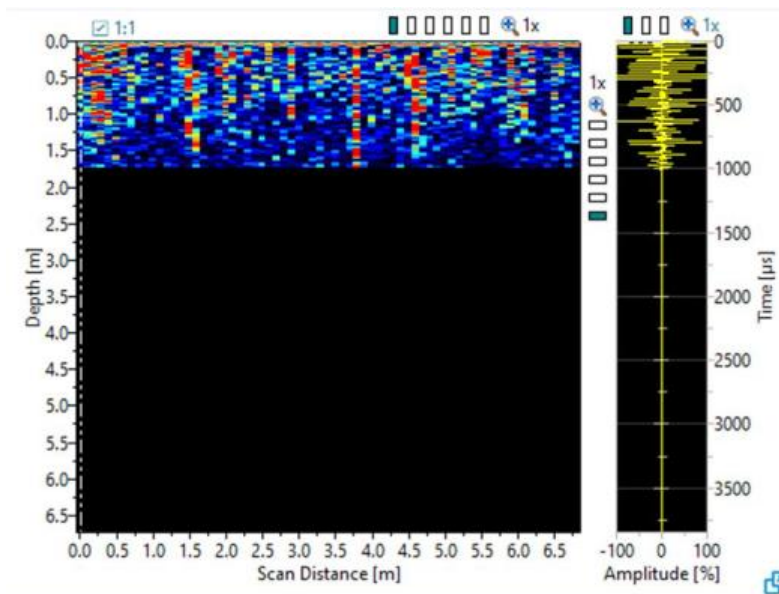
სკანირება ჩავატარეთ სამ ზოლზე:

1. კედელთან ახლოს 69 წერტილზე, 10 სანტიმეტრის დიაპაზონით;
2. პირველი ზოლის პარალელურად, მისგან დაახლოებით 60 სმ დაშორებით, 68 წერტილზე, 10 სმ დიაპაზონით;
3. პირველი და მეორე ზოლის პარალელურად, მეორე ზოლიდან 60 სმ დაშორებით, მათ პარალელურად, 69 წერტილზე, 10 სმ დიაპაზონით.

ულტრაბგერითი იმპულსის გარემოში შეღწევის სიღრმე დამოკიდებულია გარემოს სიმკვრივეზე, მასში არსებულ სიციარიელებზე, ბზარებზე და სხვადასხვა ჩანართებზე და დაახლოებით 0.5 მეტრიდან 1 მეტრამდე მერყეობს.

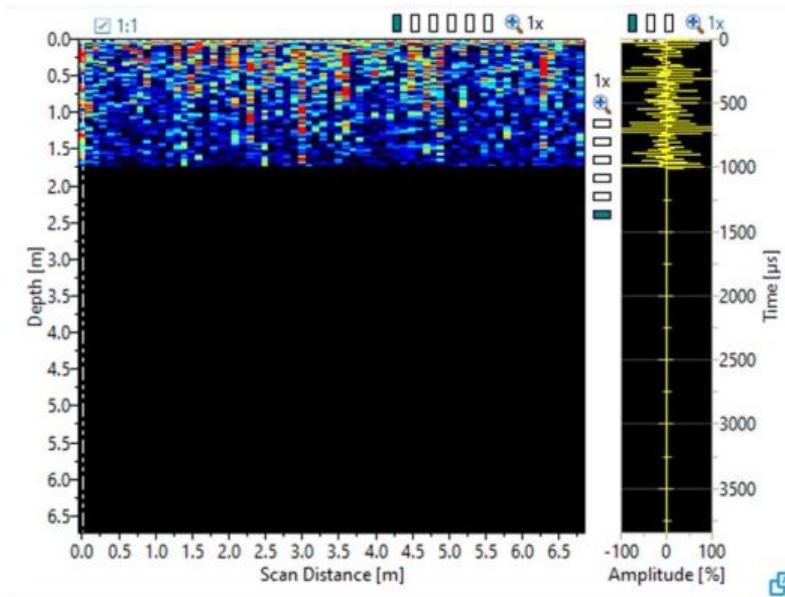


ნახ.17. ხელოვნების მუზეუმის კედელთან ახლოს, ხისგან მაქსიმალური დაშორებით მიღებული B-Scan (ტომოგრამა) ჩანაწერი



ნახ.18. ხელოვნების მუზეუმის კედელიდან 60 სმ დაშორებით, ხესა და კედელს შორის მიღებული B-Scan (ტომოგრამა) ჩანაწერი

წარმოდგენილ ტომოგრამებში მუქი ფერის არეები გვიჩვენებს შესუსტებულ უბნებს. ნახ. 17, 18, 19 ტომოგრამების შედარებითი ანალიზი გვიჩვენებს გარკვეულ განსხვავებებს მათ შორის. ამასთან, უნდა ითქვას, რომ ძალზედ ძნელია შესუსტებული არეების იდენტიფიცირება და მათი დაკავშირება ფესვთა სისტემასთან. შესუსტებული არეები შეიძლება დაკავშირებული იყოს აქ ჩატარებულ სხვადასხვა ტექნიკურ სამუშაოებთან. კედლის მიმდებარე და დანარჩენ ტომოგრამებს შორის არაა ისეთი განსხვავება, რომ ის ცალსახად დავუკავშიროთ ფესვთა სისტემას.



ნახ.19. ხელოვნების მუზეუმის კედელიდან 120 სმ დაშორებით, ხესთან მაქსიმალურად ახლოს მიღებული B-Scan (ტომოგრამა) ჩანაწერი

დასკვნა

საქართველოს ხელოვნების ეროვნული მუზეუმის ცენტრალური შესასვლელთან მიმდებარე ტერიტორიაზე მდებარე ჭადრის ხეების ფესვთა სისტემის გავლენის გეორადიოლოკაციური და აკუსტიკური მეთოდებით შესწავლის შედეგად შეიძლება ითქვას, რომ შენობის ფასადის მხარეს მდებარე ფუნდამენტზე ეს გავლენა მინიმალურია, ვინაიდან ფესვთა არსებობა უშუალოდ ფასადის ფუნდამენტთან, არ ფიქსირდება. მიზეზი რის გამოც ფესვთა სისტემა ვერ აღწევს ფასადის ფუნდამენტს, როგორც ჩანს, არის შემზღვევითი ბარიერული არეს არსებობა.

ლიტერატურა – References – Литература

- [1] Odilavadze D.T., Chelidze T.L. Geophysical modeling of the georadiolocation field in direct and inverse tasks of electro-dynamics. Geophysical Journal V.35, №4, 2013 pp. 154-160 (in Russian).
- [2] Odilavadze D.T., Chelidze T.L. Physical modeling of lava tubes in the GPR. Mikheil Nodia Institute of Geophysics, Transactions, vol. LXVII; ISSN 1512-1135, Publishing house of the Tbilisi State University, Tbilisi, 2017, pp. 129-142.
- [3] Odilavadze D., Chelidze T., Ghlonti N., Kiria J., Tarkhnishvili A. Physical modelling of a layered wedge type model in direct and inverse tasks of georadiolocation. Mikheil Nodia Institute of Geophysics, Transactions, vol. LXIX; ISSN 1512-1135, Publishing house of the Tbilisi State University, Tbilisi, 2018, pp. 44-61
- [4] Odilavadze D., Kiria J., Ghlonti N., Yavolovskaya O. The Results of Archaeogeoradiolocation Investigations of the Territory Inside the Rampart of St. Sophia Church of Khobi. „Moambe” Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, V.14, n.4, 2000, pp.51-56
- [5] Odilavadze D., Tarkhan-Mouravi A., Varamashvili N., Arziani Z. Prevention of the Danger Triggered by an Earth quake of Exogenous and Endogenous Processes, using a Combination of Geophysical Geoelectric Methods in Geotechnics. International Scientific Conference Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation, Tbilisi, 2019.

- [6] Odilavadze D.T., Varamashvili N.D. Vertical electrical sounding and georadiolocation to assess groundwater level during orchard cultivation. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, 23(2), 2020.
- [7] Varamashvili N., Odilavadze D., Kiria J., Ghlonti N., Tarkhan-Mouravi A., Amilakhvari D. Vertical Electrical Sounding and Georadiolocation to Assess Landslide Area Water Saturation. *International Scientific Conference „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“ Proceedings*, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, 2021.
- [8] Varamashvili N., Chelidze T., Chelidze Z., Chikhladze V., Tefnadze D. Acoustic pulses detecting methods in granular media. *Journal of Georgian Geophysical Society*, v. 16, 2013.
- [9] Varamashvili N., Chelidze T., Chelidze Z., Gigiberia M., Ghlonti N. Acoustics in Geophysics and Geomechanics. *Journal of Georgian Geophysical Society*, v. 21, 2019.
- [10] Mohd Taufiq Mohd Khairi, Sallehuddin Ibrahim, Mohd Amri Md Yunus, Mahdi Faramarzi, Goh Pei Sean, Jaysuman Puspanathan, Azwad Abid, Ultra sound computed tomography for material inspection: Principles, design and applications. *Measurement* 146, 2019, pp. 490–523.
- [11] Varamashvili N., Asanidze B., Jakhutashvili M. Ultrasonic Tomography and Pulse Velocity for Nondestructive Testing of Concrete Structures. *Journal of Georgian Geophysical Society*, v. 23(2), 2020.
- [12] Odilavadze D., Varamashvili N., Chelidze T., Ghlonti N., Kiria J., Tarkhan-Mouravi A. A. Complex study of the subsurface at a small depth using georadiolocation and ultrasound methods. *International Scientific Conference „Geophysical processes in the Earth and its envelopes“*, Tbilisi, 2023.

საქართველოს ხელოვნების ეროვნული მუზეუმის ცენტრალური შესასვლელთან მიმდებარე ტერიტორიაზე მდებარე ხეების შესაძლო გავლენის შესწავლა, გეოფიზიკური მეთოდებით, შენობის ფასადის მხარეს მდებარე ფუნდამენტზე ოდილავაძე დ., ვარამაშვილი ნ., ჭელიძე თ., ღლონტი ნ., ქირია ჯ., თარხან-მოურავი ა.

რეზიუმე

ჩვენი კვლევის საგანი იყო, გეორადიოლოკაციური და ულტრაბგერითი მეთოდებით, საქართველოს ხელოვნების ეროვნული მუზეუმის ცენტრალური შესასვლელთან მიმდებარე ტერიტორიაზე მდებარე ჭადრის ხეების ფესვთა სისტემის გავლენის შესწავლა შენობაზე. გეორადიოლოკაციის მეთოდი ეფექტურია სიღრმეებზე (0-50 მ) მიწისქვეშა ფენების აგებულების შესასწავლად. კვლევისას გამოყენებულ იქნა გეორადარი Zond 12e თავისი საშტატო მაღალი სიხშირის 500 მჰც ეკრანირებული და 2 გჰც ზემაღალი სიხშირის ანტენებით. გეორადარული მონაცემები შეკრებილი და დამუშავებული იქნა საშტატო კომპიუტერული პროგრამული უზრუნველყოფით Prizm 2.7. გეორადარის საშუალებით შესაძლებელია სხვადასხვა გარემოში არსებული სიცარიელების, ბზარების, შესუსტებული გარემოს გამოყოფა. შესაძლებელია ასევე გარემოს დატენიანების ხარისხის განსაზღვრა. გეორადიოლოკაციის მეთოდით მიწისქვეშა ფენების სხვადასხვა სიღრმეებზე შესასწავლად გამოიყენება სხვადასხვა სიხშირის ანტენები. გარემოს მექანიკური პარამეტრების განსაზღვრისათვის და მისი მექანიკური აგებულების დადგენისთვის ასევე ეფექტური საშუალებაა ულტრაბგერითი მეთოდი. წარმოდგენილ სამუშაოებში გამოყენებული იქნა შვეიცარული კომპანიის PROCEQ-ის მიერ წარმოებული ულტრაბგერითი აპარატურა, იმპულსური ექო გადამწოდი – Pundit PL-200PE. მიღებული მასალის დამუშავება შესრულდა Pundit – 200 და Pundit – 20PE-ს სამუშაო პროგრამის “PL-Link” საშუალებით. ულტრაბგერითი აპარატურით შესაძლებელია გარემოში არსებული სიცარიელების, ბზარების გამოყოფა და მათი გეომეტრიული პარამეტრების შესწავლა. ასევე გარემოს მექანიკური მახასიათებლების დადგენა. წარმოდგენილი კვლევა (მიწისქვეშა ფენების შესწავლა) არ არის ტიპური ულტრაბგერითი მეთოდისათვის, თუმცა საინტერესო იყო სამუშაოს შესრულება გეორა-

დიოლოკაციურ მეთოდთან ერთად და კომპლექსური ძიების შესაძლებლობის დადგენა. რადიოლოკაციით და ულტრაბგერითი მეთოდით მიღებული შედეგები ერთმანეთს არ ეწინააღმდეგება და ამით დასკვნების საიმედოობას ზრდის.

საკვანძო სიტყვები: გეორადიოლოკაცია, ულტრაბგერა, ტომოგრაფია.

**STUDYING THE POSSIBLE IMPACT OF THE TREES LOCATED NEAR
THE CENTRAL ENTRANCE OF THE NATIONAL MUSEUM OF ART
OF GEORGIA ON THE FOUNDATION ON THE FACADE SIDE
OF THE BUILDING USING GEOPHYSICAL METHODS**

Odilavadze D., Varamashvili N., Chelidze T., Glonti N., Kiria J., Tarkhan-Mouravi A.

Abstract

The subject of our research was to study the influence of the root system of the cedar trees on the building in the area near the central entrance of the National Museum of Art of Georgia, using georadiolocation and ultrasound methods. The radiolocation method is effective for studying the structure of underground layers (0-50 m) depths. Georadar Zond 12e with its standard high-frequency 500 MHz shielded and 2 GHz high-frequency antennas was used in the research. Georadar data were collected and processed with Prizm 2.7 regular software. With the help of georadar, it is possible to highlight voids, cracks and weakened environment. It is also possible to determine the degree of humidity of the environment. Antennas of different frequencies are used to study underground layers at different depths by radiolocation method. Ultrasonic method is also an effective tool for determining the mechanical parameters of the environment and its mechanical structure. In the presented works, the ultrasonic equipment manufactured by the Swiss company PROCEQ, pulsed echo transmitter – Pundit PL-200PE was used. Processing of the obtained material was performed by means of the Pundit – 200 and Pundit – 20PE working program "PL-Link". Using ultrasonic equipment, it is possible to highlight voids and cracks in the environment and study their geometrical parameters, as well as determining the mechanical characteristics of the environment. The presented research (study of underground layers) is not typical for the ultrasound method, although it was interesting to perform the work together with the geolocation method and to determine the possibility of complex investigation. The results obtained by radiolocation and ultrasound method do not contradict each other and increase the reliability of the conclusions.

Key words: Georadiolocation, ultrasound, tomography.

**ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕРЕВЬЕВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ
У ЦЕНТРАЛЬНОГО ВХОДА НАЦИОНАЛЬНОГО МУЗЕЯ ИСКУССТВ
ГРУЗИИ, НА ФУНДАМЕНТ С ФАСАДНОЙ СТОРОНЫ ЗДАНИЯ
ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

**Одилавадзе Д., Варамашвили Н., Челидзе Т., Глonti Н.,
Кириа Дж., Тархан-Моурави А.**

Реферат

Предметом нашего исследования было изучение влияния корневой системы кедровых деревьев на здание в районе центрального входа Национального музея искусств Грузии методами георадиолокации и ультразвука. Радиолокационный метод эффективен для изучения строения подземных слоев (0-50 м) глубин. В исследованиях использовался георадар Зонд 12e со штат-

ной высокочастотной экранированной антенной 500 МГц и высокочастотной антенной 2 ГГц. Данные георадара собирались и обрабатывались с помощью штатной программы Prizm 2.7. С помощью георадара можно выделить пустоты, трещины и ослабленную среду. Также возможно определение степени влажности окружающей среды. Антенны разных частот используются для исследования подземных слоев на разных глубинах радиолокационным методом. Ультразвуковой метод также является эффективным средством определения механических параметров окружающей среды и ее механического строения. В представленных работах использовалось ультразвуковое оборудование производства швейцарской фирмы PROCEQ, импульсный эхопередатчик – Pundit PL-200PE. Обработку полученного материала проводили с помощью рабочих программ Pundit-200 и Pundit-20PE «PL-Link». С помощью ультразвукового оборудования можно выделить пустоты и трещины в окружающей среде и изучить их геометрические параметры, а также определение механических характеристик окружающей среды. Представленное исследование (изучение подземных слоев) не характерно для ультразвукового метода, хотя было интересно выполнить работу совместно с георадиолокационным методом и определить возможность комплексного исследования. Результаты, полученные георадиолокационным и ультразвуковым методом, не противоречат друг другу и повышают достоверность выводов.

Ключевые слова: Георадиолокация, ультразвук, томография.

დედამიწის კლიმატის ცვლილების გამომწვევი მთავარი მიზეზების შესახებ

ქირია თ., ნიკოლაიშვილი მ., ჩხაიძე თ.

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

1. შესავალი

მზე-დედამიწის კავშირების და კლიმატის ცვლილების შესწავლა ერთიან კონტექსტში ერთ-ერთი რთული და საინტერესო სამეცნიერო მიმართულებაა. უკანასკნელი სამეცნიერო კვლევებით მტკიცდება, რომ არსებობს პოტენციური კავშირი დედამიწის მაგნიტური ველის დიპოლსა და კლიმატის ცვლილებას შორის. ასევე, არსებობენ ასეთი ჰიპოთეზის მოწინააღმდეგეები. ზოგიერთმა მკვლევარმა შეამჩნია საკმაოდ მაღალი კორელაციური ბუნების კავშირები მაგნიტური ველის სიძლიერის, სტრუქტურის ცვალებადობასა და კლიმატის მდგომარეობას შორის. დღეისათვის დედამიწის მაგნიტური ველის და კლიმატის ამ რთული ურთიერთობის ახსნით, ჩვენ შეიძლება მივიღოთ ახალი შეხედულებები კლიმატის სისტემაზე. აქ ხაზგასმულია ის ფაქტი, რომ კლიმატის მდგომარეობაზე საუბარი მაგნიტური ველის განხილვით არ უნდა დაიწყოს, ვინაიდან მათემატიკურად საწყისი პირობა სხვა მექანიზმებს უკავშირდება, რომელიც უფრო გლობალურია. თუმცა, დედამიწის მაგნიტური ველის დროით-სივრცითი ამჟამინდელი მდგომარეობა ცხადია, დედამიწის კლიმატის განმსაზღვრელი ფაქტორების მთლიანი კომპლექსის განუყოფელი ნაწილია. ამ მიმართულების კვლევებში ჩართულია სხვადასხვა რთული მათემატიკური მოდელები, რომლებმაც შეიძლება მოგვცეს წარმოდგენა დედამიწის სიღრმეში გენერირებულ დინამიურ ძალებს, მზე-დედამიწის კავშირებს, ზოგადად კოსმოსურ კლიმატსა და დედამიწის კლიმატურ პირობებს შორის რთულ ურთიერთქმედებაზე. ყველა თეორია თანხმდება იმაზე, რომ სხვადასხვა მასშტაბის დროის ინტერვალში მოიცემა დედამიწისთვის სხვადასხვა ობიექტური გლობალური პარამეტრები და ამის შემდეგ უნდა დავიწყოთ განხილვა დედამიწის მაგნიტური ველის „საკუთარ“ შესაძლებლობებზე, როგორ გაუმკლავდება შემოთავაზებელ გლობალურ ცვლილებებს და შეიცვლება თუ არა კლიმატი. ცხადია, დედამიწის მაგნიტურ ველს საკუთარი დინამიკური სირთულეები აქვს (საუკუნოვანი ვარიაციები, ციკლები, ინვერსიები და ა.შ).

2. გეომაგნიტური ინვერსია და კლიმატთან კორელაციები

მიუხედავად იმისა, რომ გეომაგნიტურ ინვერსიასა და კლიმატის ცვლილებას შორის კავშირი რთულია და ყველა ასპექტი არ შეიძლება გამოხატული იყოს მათემატიკური

ფორმულებით, ჩვენ შეგვიძლია წარმოვადგინოთ ზოგიერთი კონცეფციის ძირითადი შეხედულება. როგორც მტკიცდება კავშირი დედამიწის მაგნეტიზმსა და კლიმატს შორის შესაძლებელია განუყოფელ ქვესაკითხებად ჩაიშალოს, როგორცაა **პალეომაგნეტიზმი, კოსმოსური სხივები, ინვერსიული პროცესები**. ამ სამეულთ შიგნით შეიძლება კლიმატის ისტორიულ ცვლილებებში აღნიშნული პროცესების კვალი აღმოვაჩინოთ.

3. პალეომაგნეტური ჩანაწერები, როგორც კლიმატის მემატთანე

ქანებში მაგნიტური მინერალების ორიენტაცია შეიძლება წარმოვადგინოთ ფორმულის სახით: ვთქვათ, θ წარმოადგენდეს კუთხეს მაგნიტურ მიმართულებასა და გეოგრაფიულ მიმართულებას შორის. მაგნიტური ველის მიხრილობა D , დახრილობა I და B ინტენსივობა შეიძლება დაკავშირებული იყოს შემდეგნაირად:

$$\tan(\theta) = \frac{B \sin(D - I)}{B \cos(I) - B_0}$$

სადაც, B_0 არის გარემოს მაგნიტური ველი.

ზოგადად კი, გეომაგნიტური ინვერსიის მიმოხილვა და მათზე ჰიპოთეზის შესწავლა, რომელიც აკავშირებს გეომაგნიტურ ცვლილებებს კლიმატისა და ბიომრავალფეროვნების ცვლილებებთან, გახდა დისკუსიის თემა სამეცნიერო საზოგადოებაში. მაგნიტური ველის პოტენციურ შესუსტებაზე ინვერსიის დროს და მის ზემოქმედებაზე კოსმოსურ სხივებზე შეიძლება ძალიან ბევრი რამ ითქვას.

ჰიპოთეზა იმის შესახებ, თუ როგორ შეიძლება მაგნიტური ველის ცვლილებამ მოახდინოს კოსმოსური სხივების ნაკადის მოდულირება, ღრუბლების დინამიკის, მოკლევადიან და გრძელვადიან პერსპექტივაში კლიმატის პოტენციური ცვლილება, მეცნიერულად დასაშვებად მიიჩნევა და უახლოესი კვლევები ამ ჰიპოთეზის მართებულობაზე მეტყველებს. პალეომაგნიტური მონაცემები და კლიმატის ე.წ. არქივებით აიხსნება, თუ როგორ უწყობს ხელს დანალექი ფენები, ყინულის ბირთვები და გეოლოგიური ჩანაწერები წარსულში მაგნიტური ველის პირობების გაგებას. ე. წ. „მარიონეტების“ გამოყენება უძველესი კლიმატური პირობების რეკონსტრუქციაში მნიშვნელოვან როლს თამაშობს და იძლევა უტყუარ მტკიცებულებებს განსაკუთრებით ინვერსიების პერიოდში, მზის აქტივობას და დედამიწის სხვადასხვა ადგილმდებარეობის (ქანების მაგნიტური თვისებების) მიხედვით კლიმატის ისტორიულ მდგომარეობებს შორის. ამ გარემოების გარშემო შექმნილია მრავალი მათემატიკური მოდელი და ამჟამად მიმდინარეობს დედამიწის არსებობის სხვადასხვა პერიოდისთვის ზემოთქმული რთული კავშირების გადამოწმება.

მაგალითისთვის, კოსმოსური სხივებსა და კლიმატს შორის ჰიპოტეტურად გამოთქმულია მოსაზრება, რომ გეომაგნეტური ველის დაძაბულობის ძალასა და (B) კოსმოსურის სხივის ნაკადს (CRF)-შორის არსებობს მათემატიკური კავშირი

$$CRF = k \cdot \frac{1}{B}$$

სადაც, k არის პროპორციულობის კოეფიციენტი.

ასევე, სამეცნიერო წრეებისთვის კარგადაა ცნობილი მილანკოვიჩის ციკლები და მაგნიტური ინვერსიები. წამოწეულია ჰიპოტეზა იმის შესახებ, რომ არსებობს კორელაცია მილან-

კოვიჩის ციკლებსა და გეომანტიურ ინვერსიებს შორის, რომელიც კლიმატის ცვლილებაზე მოქმედებს გრძელვადიან დროით მასშტაბში. ის მათემატიკურად ასე გამოიყურება:

$$T = a * \sin(b * M)$$

სადაც:

T – ტემპერატურაა,

M – მილანკოვიჩის ციკლის პარამეტრი (ორბიტის ექცენტრისიტეტი, ღერძის დახრა)

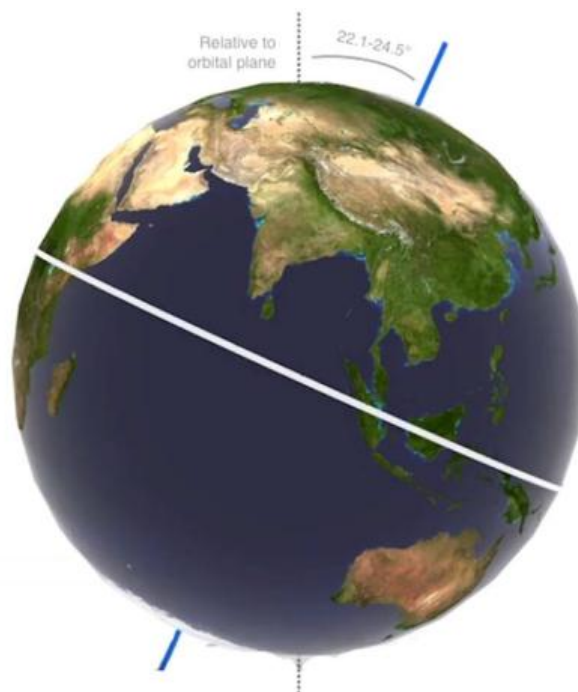
a, b – კოეფიციენტებია.

ამ ჰიპოტეტური ფორმულის ინტერპრეტაცია შემდეგნაირად შეიძლება:

კლიმატის პარამეტრის ცვლილება სინუსოიდურ მილანკოვიჩის ციკლების გავლენას განიცდის. ცხადია, ეს ვიწრო აზრით წარმოთქმული ჰიპოთეზაა და კავშირი კლიმატსა და გეომანტიზმს შორის გაცილებით რთული ბუნებისაა.

მზის კლიმატის სეზონურობა ხასიათდება ზაფხულის (გაზაფხული-ზაფხული) და ზამთრის (შემოდგომა-ზამთრის) სეზონებისთვის ინსოლაციის რაოდენობათა სხვაობით:

$$W_S - W_W = I_0 T_0 \frac{\sin \varphi \sin \varepsilon}{\pi \sqrt{1-e^2}}$$



სურათი 1. 41 000 წლიანი ციკლი, რომლის დროსაც ბრუნვის ღერძი ორბიტალურ სიბრტყესთან იხრება 22.1-24,4 გრადუსის მიდამოებში

ეს განსხვავება დამოკიდებულია მზის სიკაშკაშეზე და ადგილის გრძედზე, დედამიწის ბრუნვის პერიოდზე მზის გარშემო (T_0), ეკვატორის დახრილობაზე (ε) და ექსცენტრისიტეტ (e)-ზე.

მილონკევიჩმა შემოიტანა მცნება, კალორიული ნახევარწელი. აქედან გამომდინარე კი იმ სითბოს ჯამი კალორიულ ნახევარწელზე $\frac{T_0}{2}$ დამოკიდებულია მოცემულ გრძედზე, დედამიწის ბრუნვის ღერძის დახრაზე და ორბიტის ელემენტებზე [2].

$$Q_s = \frac{I_0 T_0}{2\pi} \left(S(\varphi, \varepsilon) + \sin \varphi \sin \varepsilon - \frac{4}{\pi} \varepsilon \sin \Pi \cos \varphi \right),$$

$$Q_w = \frac{I_0 T_0}{2\pi} \left(S(\varphi, \varepsilon) - \sin \varphi \sin \varepsilon + \frac{4}{\pi} \varepsilon \sin \Pi \cos \varphi \right),$$

სადაც Π – პერიგეას გრძივია.

ამასთან, ε -ის და $\varepsilon \sin \Pi$ -ის ცვლილება შესაძლებელია დედამიწაზე სხვა პლანეტების მიზიდულობის ძალის ზეგავლენით. ნებისმიერი გრძედისთვის საპლანეტათაშორისო მიზიდულობის ძალები არ ცვლიან წლიურ მზისგან მიღებულ სითბოს, მაგრამ ცვლიან სითბოს განაწილებას გრძედებზე სეზონურად [1].

აქედან მილონკევიჩმა გამოყო დედამიწის ორბიტის შეცვლის ციკლები: 23 000 წლიანი (ეს არის დედამიწის მზესთან მაქსიმალურად მიახლოების პერიოდი), გამომდინარე აქედან მზე და დედამიწა 10 000 წლის შემდეგ დაუახლოვდება მაქსიმალურად ერთმანეთს. შემდეგი ციკლი არის 41 000 წლიანი, რომლის დროსაც ბრუნვის ღერძი ორბიტალურ სიბრტყესთან იხრება 21-24,4 გრადუსის მიდამოებში, მესამე ციკლი ეს არის 93 – 413 ათასწლიანი ციკლი, რომლის დროსაც ორბიტა გახდება ძლიერ ელისფური, რაც თავის მხრივ განაპირობებს დედამიწის და მზის დაშორებას და ზაფხული-ზამთრის სეზონს ძლიერ შეცვლის.

აქედან გამომდინარე, მილონკევიჩმა დაასაბუთა კლიმატის ცვლილების გამომწვევი მიზეზი, რომელიც ორბიტალურ პარამეტრებზეა ძლიერ დამოკიდებული, ხოლო ეს უკანასკნელი თავის მხრივ დედამიწისთვის ქმნის განსხვავებულ კოსმოსურ კლიმატს, სითბოს ნაკადების ინტენსივობას. შესაბამისად, დედამიწის მაგნიტური ველის რეაგირება სხვადასხვა დოზის რადიაციაზე განსხვავებულია. გამომდინარე აქედან, ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესები ციკლების შესაბამისად სხვადასხვაა. საბოლოოდ, ციკლების მიხედვით გვექნება განსხვავებული კლიმატური პირობები. ყველა კვლევა მეტყველებს იმაზე, რომ დედამიწაზე კლიმატი ისტორიულად იყო ძლიერ მკმნობიარე მზის აქტივობის, მის სისტემაში ორბიტალურ პარამეტრებზე და შემდეგ უკვე დედამიწის მაგნიტური ველის პარამეტრებზე.

დასკვნა

პალეომაგნიტური ჩანაწერები, მზე-დედამიწის კავშირები და მილანკოვიჩის ციკლებს შორის გამოკვეთილი მიზეზ-შედეგობრივი სქემა, რომელიც საბოლოოდ კლიმატის ცვლილების სახით ვლინდება დედამიწაზე, ადასტურებს იმას, რომ კლიმატის გლობალური ცვლილება დედამიწაზე არაა ცალსახად დამოკიდებული დედამიწის მაგნიტურ ველის სიძლიერეზე. ის არაა დიდი ცვლილებების პირდაპირი მიზეზი, კლიმატის სეზონურობის და პლანეტათაშორისი გრავიტაციული ძალების გავლენასთან შედარებით. ორბიტალური პარამეტრების, დედამიწის ბრუნვის ღერძის დახრისა და სხვა გლობალური ცვლადების ცვლილებები მთავარ გამწვევ მექანიზმად მიიჩნევა. ცხადია, კლიმატის ცვლილება რთულად არის დაკავშირებული ორბიტალურ პარამეტრებთან, რასაც ქმნის განსხვავებული კოსმოსური კლიმატი გაფართოებულ ციკლებში, რომელიც ხაზს უსვამს დედამიწის რეაგირების სირთულეს გარე გავლენებზე. კლიმატის ცვლილების გამომწვევი ძირითადი მექანიზმების უფრო ღრმა გაგებას უკავშირდება პალეომაგნიტური ჩანაწერები, მზე-დედამიწის კავშირები და მილანკოვიჩის ციკლების მიზეზ-შედეგობრივი სქემები. სხვადასხვა უახლესი მათემატიკური მოდელებიც სწორედ ამ უკანასკნელი ჰიპოთეზის სასარგებლოდ

მეტყველებენ. ყველა მოდელში თითოეული ცვლადის წილობრივი გავლენა დედამიწის კლიმატის ჩამოყალიბებაში პრაქტიკულად მსგავს თანაფარდობაში არიან მათემატიკური ზომადობის თვალსაზრისით.

ლიტერატურა – References – Литература

- [1] Couchoud I. et al. Millennial-scale climate variability during the Last Interglacial recorded in a speleothem from south-western France. *Quaternary Science Reviews* 28, 2009, pp. 3263-3274.
- [2] Kingston J. D. et al. Astronomically forced climate change in the Kenyan Rift Valley 2.7-2.55 Ma: Implications for the evolution of early hominin ecosystems. *Journal of Human Evolution* 53, 2007, pp. 487-503.
- [3] Courtillot V., Olson, P. Mantle plumes link magnetic superchrons to Phanerozoic mass depletion events. *Earth and Planetary Science Letters*, 260(3-4), 2007, pp. 495-504.
- [4] Svensmark, H., Friis-Christensen E. Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage – a missing link in solar-climate relationships. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 59(11), 1997, pp. 1225-1232.
- [5] Tarduno J. A., Cottrell R. D., Watkeys M. K., Hofmann A. Geodynamo, solar wind, and magnetopause 3.4 to 3.45 billion years ago. *Science*, 327(5970), 2010, pp. 1238-1240.
- [6] Usoskin I. G., Gladysheva O. G., Kovaltsov G. A., Mironova I. A., Turtiainen, T. Cosmic ray induced ionization in the atmosphere: Full modeling and practical applications. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(6), 2015, pp. 2474-2486.
- [7] Vaughan A. P. M., Spagna P. Reversals of the Earth's magnetic field and climate. *Journal of Quaternary Science*, 30(6), 2015, pp. 511-515.

დედამიწის კლიმატის ცვლილების გამომწვევი მთავარი მიზეზების შესახებ

ქირია თ., ნიკოლაიშვილი მ., ჩხაიძე თ.

რეზიუმე

კლიმატის გლობალური ცვლილების მრავალფაქტორული ანალიზის შედეგებიდან ჩანს, რომ ცვლილებების გამომწვევი და მთავარი პირობა არის კოსმოსური კლიმატი მზის სისტემაში, დედამიწის ციკლები და ბოლოს დედამიწის მაგნიტური ველის სიმძლავრე და გეომაგნიტური პროცესები დედამიწის წიაღში. აგებულია, არაერთი კლიმატის ცვლილებების პირადიპირი და ირიბი ფაქტორების განმსაზღვრელი, რეალობასთან მაქსიმალურად მიახლოებული სხვადასხვა მათემატიკური მოდელი, რომელიც მიაწინებს ფაქტორთა კომპლექსურ და დროში თანმიმდევრულ ერთობლიობას კლიმატური სურათის ჩამოყალიბებისთვის. მოდელური რეკონსტრუქციები საკმარისად ასაბუთებენ კლიმატის ცვლილების გამომწვევ მიზეზთა კასკადს, რომელიც მაღალი სირთულით და დინამიკით გამოირჩევა.

საკვანძო სიტყვები: კლიმატის ცვლილება, მზე-დედამიწის კავშირები, მაგნიტური ველი.

ABOUT THE MAIN CAUSES OF THE EARTH'S CLIMATE CHANGE

Kiria T., Nikolaishvili M., Chkhaidze T.

Abstract

The results of the multifactorial analysis of global climate change show that the cause and main condition of the changes are the space climate in the solar system, the Earth's cycles, and finally the strength of the Earth's magnetic field and geomagnetic processes in the Earth's core. A different

mathematical model has been built that is as close as possible to the reality of individual and indirect factors determining climate changes, which indicates a complex and time-consistent set of factors for the formation of a climatic picture. Model reconstructions sufficiently substantiate the cascade of causes of climate change, which is characterized by high complexity and dynamics.

Key words: Climate change, Sun-Earth connections, magnetic field.

ОБ ОСНОВНЫХ ПРИЧИНАХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ЗЕМЛИ

Кириа Т., Николайшвили М., Чхаидзе Т.

Реферат

Результаты многофакторного анализа глобального изменения климата показывают, что причиной и основным условием изменений являются космический климат Солнечной системы, земные циклы и, наконец, сила магнитного поля Земли и геомагнитные процессы в ядре Земли. Построена иная математическая модель, максимально приближенная к реальности отдельных и косвенных факторов, определяющих изменения климата, что свидетельствует о сложном и согласованном во времени наборе факторов формирования климатической картины. Модельные реконструкции достаточно обосновывают каскад причин изменения климата, характеризующегося высокой сложностью и динамикой.

Ключевые слова: Изменение климата, Солнечно – земные связи, магнитное поле.

**მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და
ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორში
2011-2023 წწ.-ში ჩატარებული კვლევები და პერსპექტივები**

დემეტრაშვილი დ.

*ოსუ მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი
demetr_48@yahoo.com*

იმ უდიდეს გამოწვევებს შორის, რომელთა გადაჭრა მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს თანამედროვე ცივილიზაციის მომავალსა და მდგრად განვითარებას, ბუნებრივი გარემოს (ზღვა, ატმოსფერო, ნიადაგი) დაბინძურება ცოცხალი სამყაროსათვის საშიში სხვადასხვა ანთროპოგენური წარმოშობის მინარევებით ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი საკითხია. ჩვენი პლანეტის თხევად გარსში (ატმოსფეროს, ჰიდროსფერო) მინარევების გავრცელების პროცესის კანონზომიერებათა გამოკვლევა და პროგნოზი კომპლექსური ამოცანაა და პირველ რიგში მოითხოვს ატმოსფეროსა და ზღვაში მიმდინარე ჰიდროთერმოდინამიკური პროცესების კვლევასა და პროგნოზს. აღნიშნული ამოცანების გადაჭრის ერთ-ერთი ეფექტური საშუალებაა მათემატიკური მოდელირების მეთოდი, რომელიც საშუალებას იძლევა რაოდენობრივად შევაფასოთ ცალკეული ფაქტორის როლი შესასწავლი პროცესის ან მოვლენის განვითარებაში და, ბოლოს, განვახორციელოთ მათი პროგნოზი.

ივანე ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორში სამ ათეულ წელიწადზე მეტია მიმდინარეობს სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები აღნიშნული მიმართულებით. უნდა აღინიშნოს, რომ სექტორში ჩატარებულმა კვლევებმა საფუძველი დაუდო ინსტიტუტისათვის შედარებით ახალ მიმართულებას – შავი ზღვისა და ატმოსფეროს ჰიდროთერმოდინამიკური და ეკოლოგიური პროცესების შესწავლას მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე.

მოცემულ სტატიაში, რომელიც არის მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის დაარსების 90 წლისთავისადმი მიძღვნილ საერთაშორისო კონფერენციაზე წარმოდგენილი პრეზენტაციის [1] გაფართოებული ვერსია, მოცემულია მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს მოდელირების სექტორში 2011-2023 წწ.-ში შესრულებულ სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების მიმოხილვა.

2011-2023 წწ.-ში სექტორში მიმდინარეობდა სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები შემდეგი ძირითადი მიმართულებებით:

- შავ ზღვაში მიმდინარე ჰიდროდინამიკური პროცესების შესწავლა მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე;

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

შავი ზღვის ჰიდროდინამიკური პროცესების მოდელირებისა და პროგნოზის მიზნით, სექტორში შემუშავებულია შავი ზღვის დინამიკის მოდელის ორი ვერსია: ზღვის აუზის მასშტაბის მოდელი 5 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით [2-4] და მაღალი გარჩევისუნარიანი რეგიონული მოდელი 1 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით [5-7]. რეგიონული მოდელი მიღებულია აუზის მასშტაბის მოდელის ადაპტირების გზით შავი ზღვის განაპირა აღმოსავლეთ ნაწილისათვის, რომელიც მოიცავს შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიას 39°05' მერიდიანზე გამავალი პირობითი საზღვრით. ორივე მოდელს საფუძველად უდევს ოკეანის ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრული სისტემა, რომლის ამოხსნა ხორციელდება დიფერენციალურ განტოლებათა სასრულ-სხვაობითი მეთოდების გამოყენებით, კერძოდ, გახლეჩის ორციკლიანი მეთოდით ფიზიკური პროცესების, საკოორდინატო ვერტიკალური სიბრტყეებისა და წრფეების მიხედვით, რაც საშუალებას იძლევა რთული სივრცითი არასტაციონარული ამოცანები დაყვანილ იქნას შედარებით მარტივ ორ და ერთგანზომილებიან ამოცანებად [8, 9].

მოდელებში გათვალისწინებულია შემდეგი ძირითადი ფაქტორები: 1. ატმოსფერული ქარისმიერი და თერმული ზემოქმედება, 2. ატმოსფერული ნალექები და აორთქლება ზღვის ზედაპირიდან, 3. მზის მოკლელტალღოვანი რადიაციის შთანთქმა ზღვის ზედა ფენის მიერ, 4. ზღვის ფსკერის რელიეფი და ნაპირების კონფიგურაცია, 5. ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ტურბულენტური სიბლანტისა და დიფუზიის კოეფიციენტების სივრცით-დროითი ცვალებადობა. 6. აუზის მასშტაბის მოდელში ბოსფორის ზედა და ქვედა დინება, მდ. დნეპრის შემოდინება, ხოლო რეგიონულ მოდელში საქართველოს ძირითადი მდინარეების – ბზიფის, კოდორის, ერისწყალის, ენგურის, რიონის, ხობის შემოდინება.

აუზის მასშტაბის ზღვის დინამიკის მოდელის საფუძველზე კლიმატური მონაცემების გამოყენებით ჩატარებული გამოთვლითი ექსპერიმენტები შეეხებოდა სხვადასხვა ფიზიკური ფაქტორების წვლილის შეფასებას ზღვის ჰიდროლოგიური რეჟიმის ჩამოყალიბებაში. ამ გამოკვლევებს შორის მნიშვნელოვანია შავი ზღვის ცირკულაციის ცვალებადობის შესწავლა შავი ზღვის აუზის ზემოთ მოქმედი კლიმატური ქარის ტიპების მონაცვლეობის პირობებში [2, 3]. ატმოსფერული ზემოქმედება დაიყვანებოდა ატმოსფერული კლიმატური ქარის 24 ტიპის მონაცვლეობაზე შავი ზღვის აუზის ზემოთ. რიცხვითმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ არასტაციონარული ატმოსფერული ზემოქმედების პირობებში შავი ზღვის ზედა ფენის ცირკულაცია განიცდის მუდმივ თვისებრივ და რაოდენობრივ ცვლილებებს.

აუზის მასშტაბის ზღვის დინამიკის მოდელი გამოიყენებოდა აგრეთვე ზღვის ზედა ტურბულენტური შერევის ფენაში ჰიდროლოგიური ველების ვერტიკალური სტრუქტურის შესასწავლად [10-12]. ესაა ფენა, სადაც ინტენსიური ტურბულენტური შერევის გამო ძირითადი ჰიდროლოგიური პარამეტრები განაწილებულია ერთგვაროვნად ვეტიკალზე. ამ ფენის სისქე განიცდის სეზონურ ცვლილებებს ფართო დიაპაზონში და მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ზღვა-ატმოსფეროს ურთიერთქმედებაში. გარდა ამისა, ზღვის ეკოსისტე-

მის მდგომარეობა მჭიდროდაა დაკავშირებული ზედა შერეულ ფენასთან. ამ თვალსაზრისით ზედა შერეული ფენის ჰიდროლოგიური სტრუქტურისა და მისი ცვალებადობის შესწავლას მნიშვნელოვან მეცნიერული ღირებულება გააჩნია. ჩატარებული გამოკვლევების შედეგად დადგენილია შერეული ფენის ზოგიერთი ჰიდროლოგიური თავისებურება წლის სხვადასხვა სეზონებისათვის. კერძოდ, დაფიქსირდა თერმოჰალინური ზემოქმედების ძირითადი როლი შავი ზღვის ვერტიკალური ცირკულაციის ფორმირებაში 100 მ სისქის ზედა ფენაში გარდამავალი სეზონის – გაზაფხულის კლიმატური პირობების შესაბამისად, დაზუსტებულია შავი ზღვის ზედა შერეული ტურბულენტური ფენის სისქე და ფიზიკური თავისებურებები ზამთრის ცივ სეზონში (თებერვლის შუა რიცხვებში) და ა. შ.

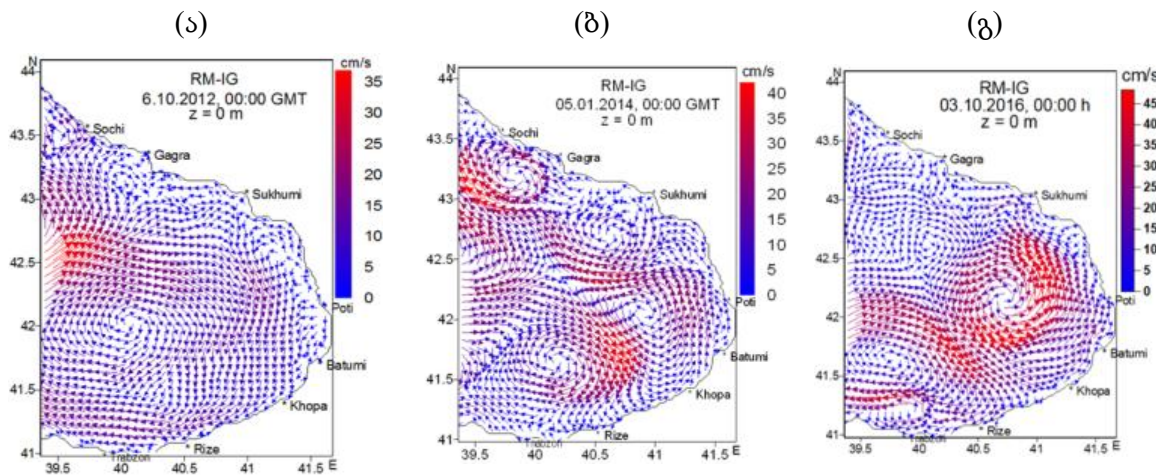
სექტორის სამეცნიერო საქმიანობაში მნიშვნელოვანი ეტაპი იყო სექტორის მონაწილეობა ევროკავშირის საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ პროექტებში ARENA (2003-2010) და ECOOP (2007-2010), რის შედეგადაც შავი ზღვის ოკეანოგრაფიაში პირველად შეიქმნა შავი ზღვის დიაგნოზისა და მოკლევადიანი პროგნოზის სისტემა [13, 14]. ამ სისტემის შემადგენელი ნაწილი გახდა შავი ზღვის განაპირა აღმოსავლეთ ნაწილის რეგიონული პროგნოზის სისტემა, რომლის ძირითადი ბირთვია სექტორში შემუშავებული მაღალი გარჩევისუნარიანი შავი ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელი [5-7]. აღნიშნული პროექტების ფარგლებში რეგიონული მოდელის სათვლელი ბადე ჩადგმული იქნა ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტის (ქ. სევასტოპოლი, უკრაინა) ზღვის აუზის მასშტაბის დინამიკის მოდელის სათვლელ ბადეში 5 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით. ატმოსფერული ზემოქმედება გაითვალისწინებოდა ატმოსფეროს დინამიკის რეგიონული მოდელის ALADIN-ის მეშვეობით, რომელიც ფუნქციონირებდა რუმინეთის მეტეოროლოგიურ სამსახურში (ქ. ბუქარესტი).

შემდგომში, სექტორის მონაწილეობის შედეგად შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიერ დაფინანსებულ პროექტში (2013-2015), განხორციელდა რეგიონული პროგნოზის სისტემის გაფართოება მინარევების გავრცელების ორი და სამ-განზომილებიანი რიცხვითი მოდელების ჩართვით, რომელთა შეწყველება მოხდა ზღვის დინამიკის რეგიონულ მოდელთან. რეგიონულ მოდელში შემავალი რეალური მონაცემების შემთხვევაში, შესაძლებელი გახდა ძირითადი სამგანზომილებიანი ჰიდროფიზიკური ველების – დინების, ტემპერატურის, მარილიანობის 3 დღიანი პროგნოზი 1 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით შავი ზღვის საქართველოს სექტორში, ხოლო საგანგებო სიტუაციების შემთხვევაში – ნავთობისა და სხვა მინარევების გავრცელების პროგნოზიც. რეგიონული პროგნოზული სისტემის საფუძველზე გამოთვლილი ველების შედარებამ ჩვენთვის ხელმისაწვდომ თანამგზავრულ მონაცემებთან აჩვენა კარგი დამთხვევა პროგნოზულ და დაკვირვებულ ველებს შორის [6, 15-17].

სექტორის მონაწილეობამ ევროკავშირის საერთაშორისო პროექტებში შესაძლებელი გახდა შეგვექმნა ჰიდროფიზიკური (დინება, ტემპერატურა, მარილიანობა) და მეტეოროლოგიური ველების (ქარის ხახუნის ტანგენციალური დამაბულობა, ტურბულენტური სითბოს ნაკადი, ატმოსფერული ნალექები, აორთქლება) მონაცემთა ბაზა 5 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით, რომლის საფუძველზეც შესაძლებელია განვახორციელოთ შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში ზღვის დინამიკური პროცესების მოდელირება 2010-2021 წწ.-ის ნებისმიერი დღისათვის. აღნიშნული ბაზის გამოყენებით ჩატარებულმა გამოთვლებმა აჩვენა, რომ შავი ზღვის საქართველოს სექტორი ხასიათდება დინამიკური პროცესების მნიშვნელოვანი სეზონური და წლიური ცვალებადობით,

სადაც მუდმივად ადგილი აქვს მეზომასშტაბური და სუბმეზომასშტაბური, ციკლონური და ანტიციკლონური გრიგალური წარმონაქმნების გენერირებას, ევოლუციას და დისიპაციას [18-23]. ასეთ გრიგალურ მოძრაობებს მნიშვნელოვანი წვლილი შეაქვთ ტემპერატურისა და მარილიანობის ველების სივრცით-დროით განაწილებაში, რომელთა მიმართ ძალზედ მგრძობიარეა ზღვის ცოცხალი ორგანიზმების გარკვეული სახეობანი. ასევე, მნიშვნელოვანია გრიგალების წვლილი ზღვაში მოხვედრილი ნავთობპროდუქტებისა და სხვა მინარევების გავრცელების პროცესში. ასეთ გრიგალურ წარმონაქმნებს შორის მნიშვნელოვანია ლიტერატურაში კარგად ცნობილი ბათუმის ანტიციკლონური გრიგალი, რომელიც გამოირჩევა მაღალი ინტენსივობითა და კვაზისტაციონარულობით, განსაკუთრებით წლის თბილ სეზონში.

ილუსტრაციის მიზნით, ნახ.1-ზე მოყვანილია გამოთვლილი ზღვის ზედაპირული დინების პროგნოზული ველები სხვადასხვა წლებსა და თვეებში საქართველოს სანაპირო ზონასა და მიმდებარე აკვატორიაში 72 სთ შემდეგ პროგნოზის საწყისი მომენტიდან. ნახ.1ა-დან კარგად ჩანს, ბათუმის ანტიციკლონური გრიგალი, რომელიც 2012 წლის ოქტომბერში მოიცავდა საქართველოსა და მიმდებარე აკვატორიას.



ნახ. 1. ზედაპირული დინების პროგნოზული ველები შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში 2012 წლის 6 ოქტომბერს (ა), 2014 წლის 5 იანვარს (ბ) და 2016 წლის 3 ოქტომბერს (გ).

ამჟამად, შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტის ფარგლებში (2023-2026 წწ.) მიმდინარეობს სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები, რომელთა მიზანია არსებული რეგიონული პროგნოზული სისტემის განვითარება და სრულყოფა პროგნოზული სისტემის გაცილებით უფრო მაღალი გარჩევისუნარიანი ვერსიის შემუშავების გზით აჭარა-ფოთი-ანაკლიის სანაპირო აკვატორიისათვის (სივრცითი ბიჯით 200 მ). ეს ვერსია ჩაირთვება არსებულ რეგიონულ პროგნოზულ სისტემაში ქვესისტემის სახით. ამგვარად, შეიქმნება კომპლექსური ოპერატიული რეგიონული პროგნოზის სისტემა, რომელიც გააერთიანებს 1 კმ გარჩევისუნარიან პროგნოზულ სისტემას და პროგნოზულ ქვესისტემას აჭარის სანაპირო ზონისა და აჭარა-ფოთი-ანაკლიის მიმდებარე აკვატორიისათვის 200 მ გარჩევისუნარიანობით. სანაპირო პროგნოზული ქვესისტემაში ჩაირთვება ქარისმიერი ზედაპირული ტალღების მოდელი, რომელიც დაფუძნებული იქნება სპექტრალური ტალღური ენერჯის ბალანსის განტოლებაზე. ამგვარად, რეგიონული პროგნოზული სისტემის

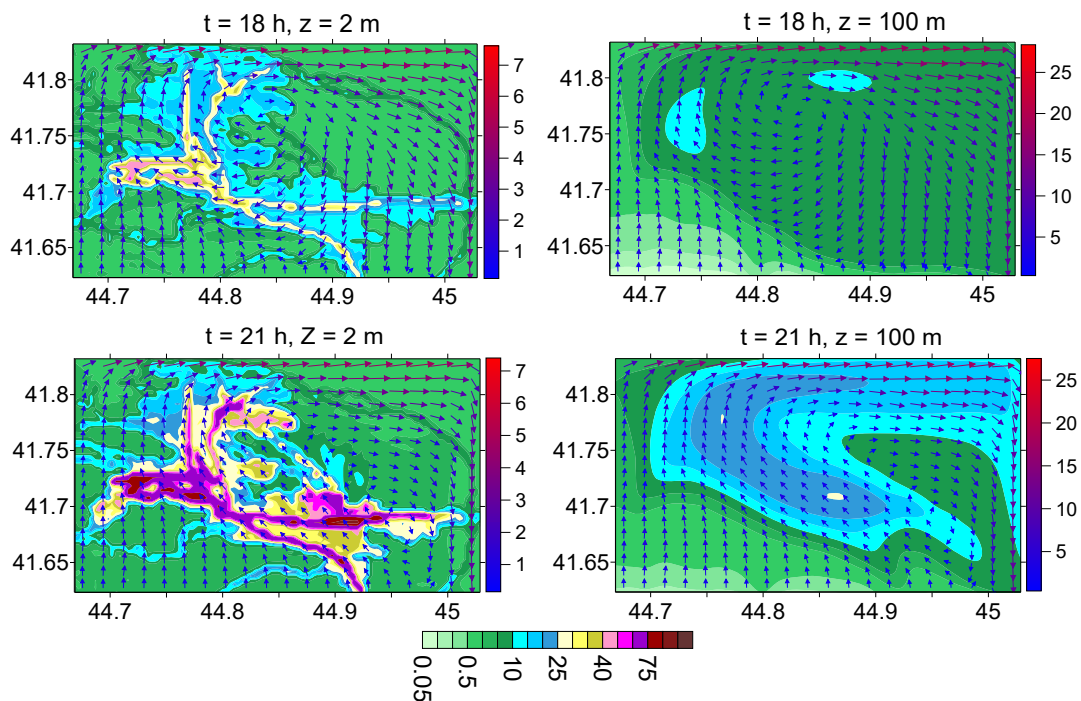
ახალი გაუმჯობესებული ვერსია საშუალებას მოგვცემს განვახორციელოთ ზედაპირული ტალღების პროგნოზიც, რაც უთუოდ აამაღლებს რეგიონული პროგნოზული სისტემის პრაქტიკულ ღირებულებას.

სექტორში ინტენსიურად მიმდინარეობს კვლევები კავკასიის ტერიტორიაზე ატმოსფეროს დინამიკისა და მავნე მინარევების გავრცელების შესწავლის მიზნით. ამ მიზნით, შემუშავებულია ატმოსფეროს დინამიკის არასტაციონარული სივრცითი მოდელები [24-26], რომელთაც საფუძვლად უდევს ატმოსფეროს ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრული სისტემა ჰიდროსტატიკურ მიახლოებაში. მოდელებში ამოხსნის არის ზედა საზღვარი მოდელირებულია თავისუფალი ზედაპირის სახით, ხოლო რელიეფის გათვალისწინების მიზნით განტოლებები ჩაწერილია რელიეფის მიმყოფ კოორდინატთა სისტემაში. [25-26]-ში გათვალისწინებულია ისეთი ძირითადი ფიზიკური ფაქტორები, როგორც კონდენსაციური და ღრუბელთა წარმოქმნის პროცესები, დედამიწის ქვეფენილი ზედაპირის დინამიკური და თერმული ურთიერთქმედება ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის პარამეტრიზაციის გათვალისწინებით და სხვ. ატმოსფეროში მინარევების გავრცელების მოდელირების მიზნით, განტოლებათა სისტემებში ჩართულია მინარევების გადატანა-დიფუზიის განტოლება. აღნიშნული რიცხვითი მოდელების საფუძველზე შეისწავლებოდა რეგიონული და მეზომასშტაბური ატმოსფერული პროცესების დინამიკა. მაგალითად, [24]-ში მოდელირებულია ჰაერის მოძრაობა მასაში საქართველოს რელიეფით გამოწვეული ოროგრაფიული შემფოთებები არასტაციონარული ფონური (შეუშფოთებელი) დინების პირობებში „მშრალი ატმოსფეროს“ მიახლოებაში. [25] -ში რიცხვითი მოდელირების საშუალებით შეისწავლებოდა ქალაქების ფოთის, ბაქოს, მეწამორის მიდამოებში მდებარე ინდუსტრიული ობიექტების ჰიპოთეტური ავარიის შემთხვევებში ატმოსფეროში ამოფრქვეული დამაბინძურებელი ნივთიერებების შესაძლო გავრცელების კანონზომიერებანი. მოდელირებამ აჩვენა, სამხრეთ კავკასიის რელიეფის მნიშვნელოვანი გავლენა დაბინძურების ღრუბლების გავრცელების ტრანსპორტირებაზე. რიცხვითი მოდელირებით შესწავლილია კავკასიისა და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე ატმოსფეროში ავარიულად ამოფრქვეული დამაბინძურებელი ნივთიერების ტრანსსასაზღვრო გავრცელების ტრანსპორტირება. ნაჩვენებია, რომ მთავარი კავკასიონის და მცირე კავკასიონის ქედები მნიშვნელოვან გავლენას ახდენენ დამაბინძურებელი ნივთიერების გავრცელების მიმართულებაზე. კერძოდ, სუსტი და საშუალო სიდიდის დასავლეთის ქარების შემთხვევაში, ქალაქების ფოთის და ბათუმის მიდამოებში ავარიულად ამოფრქვეული მავნე ნივთიერების ღრუბელი რელიეფის გავლენით იყოფა ორ ნაწილად. ერთი ნაწილი, ფორმირებული ლოკალური ქარის საშუალებით, გარს შემოუვლის მთავარი კავკასიონის ქედს სამხრეთ-დასავლეთის მხრიდან, გადაედინება მთავარი კავკასიონის ქედის დასავლეთ ნაწილზე და ვრცელდება კრასნოდარის მხარეში. მეორე ნაწილი – კოლხეთის დაბლობისა და სურამის ქედის გავლით ვრცელდება აღმოსავლელ საქართველოში და გურიის ქედის გავლენით – გურიისა და აჭარის ტერიტორიაზე. შესწავლილია ასევე კავკასიონის სამხრეთ და სამხრეთ აღმოსავლეთ ნაწილებში ამოფრქვეული დამაბინძურებელი ნივთიერებთა გადაადგილების მიმართულებები, ქვეფენილ ზედაპირზე მათი დალექვის არეები და სიჩქარეები.

[26]-ში ჩატარებული გამოთვლითი ექსპერიმენტების საფუძველზე შესწავლილია ატმოსფერული ცირკულაცია შავი ზღვის სამხრეთ-აღმოსავლეთ აკვატორიის ზემოთ დასავლეთ კავკასიის რთული რელიეფის გათვალისწინებით.

ცნობილია, რომ ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებისაგან დაცვა თანამედროვეობის ერთ-ერთ აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს. ეს პრობლემა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია დიდი ქალაქებისათვის, სადაც დამაბინძურებელ ინგრედიენტებს შორის განსაკუთრებული ადგილი უკავია მტვრის $PM_{2.5}$ და PM_{10} ნაწილაკებს. $PM_{2.5}$ და PM_{10} – მყარი და თხევადი ნაწილაკებია, რომელთა ზომები მერყეობს 1-დან 10 მკმ -ს შორის. ისინი შედგებიან: ჭვარტლის, ასფალტის, საბურავების, მინერალური მარილების, ბიოლოგიური დამაბინძურებლების, მჟავების და სხვა მყარი თუ თხევადი უმცირესი ნაწილაკებისაგან.

უკანასკნელ 3-4 წელიწადში სექტორის თემატიკაში მნიშვნელოვანი ადგილი დაიკავა $PM_{2.5}$ და PM_{10} ნაწილაკების სივრცით-დროითი განაწილების შესწავლამ ქ. თბილისისა და მიმდებარე რაიონის ატმოსფეროში. პრობლემა შესწავლილია კომპლექსურად. რიცხვითი მოდელირების, ექსპერიმენტული გაზომვებისა და ნატურალური მონაცემების სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე შესწავლილია ქ. თბილისისა და მისი მიმდებარე ტერიტორიის დაბინძურება $PM_{2.5}$ და PM_{10} მიკროაეროზოლებით, რომელთა წყაროა ავტოტრანსპორტი [28, 29]. გამოკვლეულია ტრანსპორტის მოძრაობის შედეგად ქ. თბილისის ატმოსფეროში ფორმირებული მტვრის, $PM_{2.5}$ და PM_{10} -ის კონცენტრაციების სივრცული განაწილება სხვადასხვა მიმართულებისა და სიდიდის ქარის შემთხვევაში.



ნახ. 2. მოდელირებით მიღებული ქარის სიჩქარის (მ/წმ) და PM_{10} კონცენტრაცია (მკგ/წმ) ზამთარში ქ. თბილისის ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში დღის 18 და 21 სთ [28] სამხრეთის სუსტი ფონური ქარის დროს.

ილუსტრაციის მიზნით, ნახ.2-ზე ნაჩვენებია მოდელირებით მიღებული ქარის სიჩქარის ვექტორული ველი და PM_{10} ნაწილაკების კონცენტრაცია ზამთარში ქ. თბილისის ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში დღე-ღამის 18 და 21 სთ მომენტებისათვის.

სექტორში გამოკვლევათა მნიშვნელოვანი ნაწილი მიძღვნილია ნიადაგსა და ზედაპირულ წყლებში მიმდინარე პროცესების შესწავლისადმი. ნიადაგში თხევადი ნივთიერების

ინფილტრაციის განტოლების გამოყენებით დამუშავებულია სხვადასხვა ტიპის ნიადაგში გახსნილი ნივთიერების გავრცელების მათემატიკური მოდელი. შემუშავებულია მოდელის რიცხვითი რეალიზაციის ალგორითმი და გამოთვლების კომპიუტერული პროგრამა პერსონალური კომპიუტერებისათვის. ჩატარებული გამოთვლებით დადგენილია ინფილტრაციის პროცესის მიმდინარეობა და ზოგადი თავისებურება. კახეთის დამლაშებული ბიციობიანი ნიადაგისათვის მოდელირებული და შესწავლილია მარილიანობის ცვლილება მასში შეტანილი სორბენტის საშუალებით [30, 31].

ზედაპირულ წყლებში გადატანა – დიფუზიის განტოლების გამოყენებით დამუშავებულია საქართველოს მდინარეებში დამაბინძურებელი ნივთიერებების გავრცელების სამგანზომილებიანი მათემატიკური მოდელი, მისი რიცხვითი რეალიზაციის ალგორითმი და თვლის კომპიუტერული პროგრამა. მოდელის საშუალებით, სხვადასხვა ჰიდროლოგიურ პირობებში, გამოკვლეულია მდ მტკვარში და მტკვრის ქ. თბილისის მონაკვეთზე ამონიუმის იონისა და ნავთობის გავრცელება, შესაბამისად. შესწავლილია მდ. ცხენისწყალისა და მდ. ლუხუნის გარკვეულ უბანზე დარიშხანის განაწილება [32], მისი ცვლილება დროში და ინგრედიენტის ფსკერზე დაღეჟვის სიჩქარე. გამოკვლეულია მდ. ხრამში და მის ფსკერულ დანალექში მძიმე მეტალების განაწილება, განხორციელებულია მდ, ორხევის ფსკერულ დანალექებში რკინის შემცველობის დროში ცვლილების რიცხვითი მოდელირება. მოდელირების შედეგები შეფასებულია საველე და ექსპერიმენტული გაზომვების მონაცემების საშუალებით.

სექტორის შემდგომი სამეცნიერო-კვლევითი საქმიანობა დაკავშირებული იქნება არსებული შავი ზღვისა და ატმოსფეროს მოდელირების სისტემების განვითარებასა და სრულყოფასთან. კერძოდ, როგორც უკვე ითქვა, შემუშავდება კომპლექსური საზღვაო პროგნოზული სისტემა საქართველოს შავი ზღვის სექტორისათვის, რაც საშუალებას მოგვცემს გამოვთვალოთ ძირითადი ჰიდროფიზიკური ველები ყველაზე დიდი ანთროპოგენური დატვირთვის მქონე აჭარა-ფოთი-ანაკლიის მიმდებარე აკვატორიისათვის მაღალი სივრცითი გარჩევისუნარიანობით; გამოკვლეული იქნება ქ. თბილისის ცალკეული რაიონებისათვის და, ასევე, საქართველოს ცალკეული ქალაქებისა და რეგიონებისათვის ატმოსფეროში მტვრის გავრცელების კანონზომიერებები გარჩევისუნარიანობის ხარისხის გაზრდით. იგეგმება შავი ზღვა-ატმოსფეროს ჰიდროდინამიკური რეგიონული მოდელის შემუშავება, სადაც შავი ზღვა და ატმოსფერო განიხილება როგორც ერთიანი ჰიდროდინამიკური სისტემა.

ლიტერატურა – References – Литература

- [1] დემეტრაშვილი დ. მ. ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორში ჩატარებული კვლევების შესახებ (2011-2023). საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის „დედამიწასა და მის გარსებში მიმდინარე გეოფიზიკური პროცესები“ შრომათა კრებული. თბილისი, საქართველო, 16-17 ნოემბერი, 2023 წ.
- [2] Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А. О реакции гидрологического режима Чёрного моря на изменчивость атмосферных процессов. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, Украина, вып. 10, 2004, с. 265-277.
- [3] Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А. Численное моделирование гидрофизических полей Чёрного моря в условиях чередования атмосферных циркуляционных процессов. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, т.44, N 2, 2008, с. 227-238.

- [4] Demetrashvili D. I, Kvaratskhelia D. U, Gvelesiani A. On the vortical motions in the Black Sea by the 3-D hydrothermodynamical numerical model. *Advances in Geosciences*, 14, 2008, pp. 295-299. www.adv-geosci.net/14/295/2008/
- [5] Кордзадзе А., Деметрашвили Д. Некоторые примеры численного прогноза гидрофизических полей в Грузинском секторе Черного моря. *Труды Инст. геофизики им. М. З. Нодия*, Т.LXII, 2010, с. 82-104.
- [6] Kordzadze A. A, Demetrashvili D. I. Operational forecast of hydrophysical fields in the Georgian Black Sea coastal zone within the ECOOP. *Ocean Science*, 7, 2011, pp. 793-803. www.ocean-sci.net/7/793/2011/, doi: 10.5194/os-7-793-2011.
- [7] Kordzadze A. A, Demetrashvili D. I. Coastal forecasting system for the easternmost part of the Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 12, 2012, pp. 471-477. www.trjfas.org .
- [8] Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Ленинград, Гидрометеиздат, 1974, 303 с.
- [9] Кордзадзе А. А. Математическое моделирование динамики морских течений (теория, алгоритмы, численные эксперименты). Москва, ОБМ АН СССР, 1989, 128 с.
- [10] Demetrashvili D. I., Kvaratskhelia D.U. Numerical Study of the Vertical Hydrological Structure of the Black Sea under Transitive Climatic Forcing Conditions. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 6(2), 2012, pp. 83-88.
- [11] Kvaratskhelia D. U., Chargazia Kh. Z., Demetrashvili D. I. Numerical Investigation of the Upper Biologically acting turbulent layer of the Black Sea. *Proceedings of the International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology”*, 21-22 September, 2018. Kutaisi, Georgia, pp. 51-55.
- [12] Kvaratskhelia D., Demetrashvili D., Elbakidze K., Sorriso-Valvo L. Turbulent mixing numerical study in the Black Sea basin using modified version of the Pacanovski-Philander formulation. *Bulletin TICMI*, 25 (1),2021, pp. 3-19.
- [13] Korotaev G. K., Oguz T., Dorofeyev V. L., Demyshev S. G., Kubryakov A. I., Ratner Yu. B. Development of Black Sea nowcasting and forecasting system. *Ocean Science*, 7, 2011, pp. 629-649.
- [14] Kubryakov A. I., Korotaev G. K., Dorofeyev V. L., Ratner Y. B., Palazov A., Valchev N., Malciu V., Matescu R., Oguz T. Black Sea coastal forecasting system. *Ocean Science*, 8, 2012, pp.183-196.
- [15] Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I., Kukhalashvili V. G. Easternmost Black Sea regional forecasting system. *Proceed. of the 12th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment – MEDCOAST 2015*, 6-10 October 2015, Varna, Bulgaria. vol.2, 2015, pp.769-780.
- [16] Kordzadze A., Demetrashvili D. Operational forecasting for the eastern Black Sea. *Proceed. of the 13th International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation. MEDCOAST 2017*, 30 October – 4 November, 2017, Mellicha, Malta, t.2, pp.1215-1224.
- [17] Demetrashvili D., Kukhalashvili V. High-resolving modeling and forecast of regional dynamic and transport processes in the easternmost Black Sea basin. *Proceed. of the 1st International Multi-disciplinary Scientific Conference GEOLINKS. Athens, Greece, 26-29 March 2019, Book 3, vol.1*, pp. 97-105.
- [18] Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А., Кухалашвили В. Г. Некоторые особенности динамического режима восточной части Черного моря по результатам моделирования и прогноза гидрофизических полей за 2010-2013 гг. *Труды Института геофизики им. М. Нодия*. т. LXIV, 2013, с. 117-130.
- [19] Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I., Surmava A. A. dynamical processes developed in the easternmost part of the Black Sea in warm period for 2010-2013. *J. Georgian Geophys. Soc.*, v.16b, 2013, pp. 3-12.
- [20] Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Краткосрочный прогноз гидрофизических полей в восточной части Чёрного моря. *Изв. РАН, Физика атмосферы и океана*, т.49, № 6, 2013, с. 733-745.
- [21] კორძაძე ა., დემეტრაშვილი დ. შავი ზღვის ოკეანოგრაფია წარსულში და თანამედროვე ეტაპზე. *ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა*, 2017, 187 გვ.
- [22] Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Pollution of the Black Sea by oil products. Its monitoring and forecasting. *J. Georgian Geophysical Society*, v.21b, №2, 2018, pp. 40-53.

- [23] Demetrashvili D. I., Kukhalashvili V. G., Application of Coastal Forecasting System to simulate spread of polluting substances in the Georgian Black Sea Coastal area. Proceed. of International Scientific Conference “Modern problems of Ecology”. 21-22 September, 2018, Kutaisi, Georgia, pp. 47-50.
- [24] Demetrashvili D., Davitashvili T. A modeling study of meso-scale air flow over the mountainous relief with variable in time large-scale background flow. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, t. 7, № 2, 2013, pp. 57-65.
- [25] კორძაძე ა., სურმავა ა. შავი და კასპიის ზღვების სანაპირო ზონებში დამაბინძურებელი ნივთიერების ავარიული ამოფრქვევის შემთხვევებში ჰაერის შესაძლო დაბინძურების სივრცითი მოდელირება. მ. ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტის დაარსების 80 წლისთავისადმი მიძღვნილი სამეცნიერო კონფერენციის შრომები. 2013, გვ. 3-10.
- [26] Кордзадзе А. А., Сурмава А. А., Деметрашвили Д. И., Кухалашвили В. Г. Численное моделирование формирования мезомасштабных гидродинамических полей атмосферы в окрестностях юго-восточной части Черного моря. Труды Института геофизики им. М. Нодиа, т. LXIV, 2013, с. 131-139.
- [27] Surmava A., Demetrashvili D., Kukhalashvili V., Gigauri N. Numerical modeling of dust distribution in the atmosphere of a city with a complex relief. Proceed. of International Conference on Geosciences GEOLINKS-2020, Plovdiv, Bulgaria, 23-26 March 2020. Book 1., vol.2, 2020, pp.39-46.
- [28] სურმავა ა., ინწკირველი ლ., გიგაური ნ. კუხალაშვილი ვ. PM2.5 და PM10 მიკროაეროზოლები ქ. თბილისის ატმოსფეროში. სტუ ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის გამომცემლობა. თბილისი, 2021, 92 გვ.
- [29] Kukhalashvili v., Surmava A., Gigauri N., Intskirveli L., Demetrashvili D. Numerical and experimental investigation of particulate matters 2.5 and 10 distribution in Tbilisi city atmosphere. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences. t. 16, №3, 2022, pp. 60-67.
- [30] შუბლაძე ე. შ., სურმავა ა. ა., ერისთავი დ. ვ., ბუაჩიძე ნ. ს. ნიადაგში ტყვიის სულფატის ინფილტრაციის რიცხვითი მოდელირება. საქართველოს საიჟინრო სიახლენი, No. 3, ნაწ. 94, 2021.
- [31] Surmava A. Numerical Simulation of Soil Salinity Reduction Caused by Means of Irrigation and Introduction of Sorbent. Georgian Academy Press; Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, v. 7, № 1, 2013, pp. 50-54.
- [32] ბაგრატიონი ნ., გვერდწითელი ლ., სურმავა ა., გვახარია ვ. მდ. ცხენისწყლის ფსკერულ დანალექებში დაროშხანის განაწილების რიცხვითი მოდელირება. პროფესორ ვიქტორ ერისთავის 80 წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება“. თბილისი, საქართველო. 2019, 11-12 ნოემბერი. შრომები, 2020, გვ. 143-145.

**მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს
დინამიკის მოდელირების სექტორში 2011-2023 წწ.-ში
ჩატარებული კვლევები და პერსპექტივები**

**დემეტრაშვილი დ.
რეზიუმე**

სტატიაში წარმოდგენილია ივანე ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორში 2011-2013 წწ.-ში შესრულებული სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების მოკლე მიმოხილვა. კვლევის ძირითადი მიმართულებები დაკავშირებულია შავ ზღვასა და ატმოსფეროში მიმდინარე ჰიდროდინამიკური და მინარეების გავრცელების პროცესების მათემატიკურ მოდელირებასთან. კვლევების გარკვეული ნაწილი დაკავშირებულია ზედაპირულ წყლე-

ბსა და ნიადაგში სხვადასხვა მინარევების გავრცელების თავისებურებათა შესწავლასთან მათე-მატიკური მოდელირების მეთოდის გამოყენებით. განიხილება სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოების შემდგომი განვითარების გზები.

საკვანძო სიტყვები: პროგნოზული სისტემა, რიცხვითი მოდელირება, განტოლებათა სისტემა, მინარევების გავრცელება

**RESEARCH CONDUCTED IN THE SECTOR OF MODELING THE SEA
AND ATMOSPHERIC DYNAMICS OF M. NODIA INSTITUTE
OF GEOPHYSICS IN 2011-2023 AND PERSPECTIVES**

Demetrashvili D.

Abstract

The article presents a brief overview of the scientific-research works performed in 2011-2013 in the Sector of Modeling the Sea and Atmospheric Dynamics of M. Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University. The main directions of the research are related to the mathematical modeling of the hydrodynamic and impurity dispersion processes in the Black Sea and the atmosphere. A certain part of the research is related to the study of the characteristics of the distribution of various impurities in surface waters and soil using the method of mathematical modeling. Ways of further development of scientific-research works are discussed.

Key words: forecasting system, numerical modeling, system of equations, impurities' dispersion.

**ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРОВЕДЕННЫЕ В СЕКТОРЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДИНАМИКИ МОРЯ И АТМОСФЕРЫ ИНСТИТУТА ГЕОФИЗИКИ
ИМ. М. НОДИА В 2011-2023 ГГ. И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Деметрашвили Д.

Реферат

В статье представлен краткий обзор научно-исследовательских работ, выполненных в 2011-2013 гг. в секторе моделирования динамики моря и атмосферы Института геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. Иване Джавахишвили. Основные направления исследований связаны с математическим моделированием гидродинамических процессов и распространения примесей в Черном море и атмосфере. Определенная часть исследований связана с изучением особенностей распределения различных примесей в поверхностных водах и почве методом математического моделирования. Обсуждаются пути дальнейшего развития научно-исследовательских работ.

Ключевые слова: прогностическая система, численное моделирование, система уравнений, распространение примесей.

О ВЛИЯНИИ КАПИЛЛЯРНЫХ КОЛЕБАНИЙ КАПЕЛЬ НА МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ОБЛАКАХ

Кереселидзе З.А., Амиранашвили А.Г.

*Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили
z_kereselidze@yahoo.com*

Введение

В целом, грозо-градовая активность конвективных облаков зависит от следующих параметров атмосферы и облаков:

- термодинамических характеристик атмосферы, связанных с физико-географическими условиями местности;
- содержания в облаке переохлажденной воды;
- спектра размеров гидрометеоров;
- количества и интенсивности осадков, выпадающих из облака;
- электрической проводимости в облаках;
- содержания в облаках ледяных частиц;
- химического состава облачных элементов;
- содержания в облаке различных аэрозольных примесей и газов естественного и антропогенного происхождения.

В зависимости от характера изменения этих параметров, целый ряд которых имеет и обратные связи с разрядами молний и осадками, грозо-градовая активность облака либо может усиливаться, либо уменьшаться.

Влияние урбанизации на указанные параметры может осуществляться в результате действия различных факторов, к которым ориентировочно по мнению различных авторов [1-5 и др.] можно отнести:

1. Наличие городского острова тепла, оказывающего локальное воздействие на облачность и активность фронтов.
2. Резко выраженную шероховатость застроенной подстилающей поверхности, тормозящую горизонтальный перенос в приземном слое.
3. Загрязнение атмосферы, вызывающее уменьшение электрической проводимости воздуха по сравнению с окружающей местностью и увеличением градиента потенциала электрического поля. Загрязнение атмосферы влияет также на микрофизическую структуру облаков (спектр размеров капель, водность, ледность).
4. Появление тихих электрических разрядов (коронирования) с имеющихся в городах высоких строений, влияющих на грозовую активность облаков. Изменение последней может приводить опять-таки к изменению микрофизических характеристик облаков, определяющих образование и рост града.

5. Повышенный электромагнитный фон от многочисленных электрических установок, могущий изменять ионизационное состояние атмосферы.
6. Ионизация атмосферы естественными и антропогенными источниками (радионуклиды – радон и др., космическое излучение, гамма излучение почвы), влияющими на проводимость воздуха, образование ядер конденсации и кристаллизации.

Таким образом, эффекты 1 и 2 изменяют термодинамические условия образования и развития грозовых и градовых облаков. Эффект 3 может проявляться на расстояниях до нескольких сотен км от мощных антропогенных источников загрязнений [6,7]. Эффекты 4 и 5 влияют на изменение электрической проводимости в облаках и, соответственно, интенсивности их грозовой активности. В настоящее время эффекты, вызванные изменением электропроводности атмосферы, изучены недостаточно. Это свойство атмосферы во многом определяет грозовую деятельность, влияет на процессы образования ядер конденсации и роста облачных капель и, следовательно, на развитие облачных систем, образование аэрозольных частиц (в частности, сульфатных частиц), скорость их роста.

Эффект 6, как оказалось, оказывает весьма существенное влияние на образование вторичных аэрозолей в атмосфере, в том числе и ядер конденсации, оказывающих большое влияние на формирование микрофизической структуры облаков [4,5,8-10].

Ниже рассмотрим анализ возможного влияния капиллярных колебаний капель на микрофизические и электрические процессы в облаках.

Задача капиллярных осцилляций заряженной капли в окрестности равновесной формы и их устойчивость представляет значительный интерес для различных разделов технической физики, научного приборостроения, геофизики и химической технологии [11]. Среди теоретических и экспериментальных работ, посвященных данной теме, имеются исследования как в линейной, так и в нелинейной постановках. Однако, их большая часть была выполнена в линейной постановке. Значительная часть этих исследований находит применение в гидрометеорологии, в частности в физике облаков. Например, Гидродинамическая неустойчивость заряженных капель и явление их распада используется для толкования атмосферных явлений на основе фундаментальных решений механики жидкости вместе с механизмами разделения электрических зарядов в грозовых облаках, их перемещении и рекомбинации вблизи разрядов молний. Эти явления непосредственно влияют на условия генерации электромагнитного излучения от осциллирующих облачных капель, которое представляет интерес в связи с проблемами радиопомех при радиолокационном зондировании метеорологических объектов. В работе [12] представлены результаты нелинейных асимптотических расчетов, проведенных для четвертого порядка по величине эксцентриситета сфероидальной капли и первом порядке по безразмерной амплитуде ее осцилляций. Была также рассчитана устойчивость сильно заряженной капли в слабом внешнем однородном электростатическом поле, в котором равновесная форма капли может считаться вытянутой сфероидальной [11]. Этот результат подтверждает, что равновесную форму жидких капель в облаках скорее следует считать эллипсоидальной, чем сферической. Следует также отметить, что для сильно заряженной капли, подвешенной в неподвижном состоянии в суперпозиции гравитационного и электростатического полей, были найдены критические условия реализации ее неустойчивости по отношению к собственному и индуцированному зарядам [13].

Вышеуказанных работ достаточно для вывода, что сферическая форма является идеальным приближением для заряженной дождевой капли, которая подвержена деформациям в гравитационных и электромагнитных полях. Очевидно, что для нее более всего подходит форма вытянутого эллипсоида вращения. В качестве подтверждения данного соображения могут служить результаты работы [14], в которой было аналитически получено асимптотическое выражение для равновесной формы заряженной капли идеальной несжимаемой жидкости, подвешенной в суперпозиции коллинеарных однородного внешнего электрического и гравитационного полей.

Очевидно, что такая постановка достаточно точно имитирует условия в облаке. Задача была решена в квадратичном приближении по малой амплитуде отклонения равновесной формы от сферической. Оказалось, что форма равновесной поверхности капли, с учетом влияния на нее гравитационного и электростатического полей, а также взаимодействия собственного заряда капли с внешним электростатическим полем, при условии, когда заряд капли и напряженность электростатического поля значительно ниже их критического порога, форма капли близка к вытянутому сфероиду. Отсюда, можно предположить, что, при усилении заряда капли и увеличении интенсивности внешнего электростатического поля, равновесная форма капли может трансформироваться от сфероидальной в эллиптическую. Также можно указать на работу [15], в которой проведен расчет изменения формы заряженной капли жидкости под действием внешнего электрического поля. Определены условия трансформации сферической капли в вытянутый или сплюснутый сфероид по отношению к направлению вектора напряженности электрического поля, а также даны результаты соответствующего лабораторного эксперимента.

Атмосферное электрическое поле и метеорологический режим. Погодные условия на Земле определяются термодинамическими преобразованиями в наэлектризованной атмосферной среде. Источником, снабжающим этот процесс энергией, является космическое электромагнитное излучение, а также радиоактивный распад, происходящий в глубине Земли. Связь между погодой и перманентно действующими глобальными физическими факторами являются настолько сложной, что приходится рассматривать отдельные блоки этой проблемы, решение которых обычно не дают однозначные результаты. Такое представление в полной мере относится к проблеме облаков, в которых термодинамические преобразования происходят на фоне непрерывного действия гравитационного и электрического полей. Например, возникновение центров конденсации в перенасыщенном водяными парами облаке вызывает лавинообразное умножение водяных капель, что является фактором, вызывающим поляризацию облака и изменения атмосферного электрического поля. Причиной этих явлений служат электрические заряды, возникающие на поверхности водяных капель, что является результатом ионизационного действия космических лучей в нижней атмосфере [16; Harrison R. G. The global atmospheric electrical circuit and climate]. А вследствие электризации капель возможны локальная инверсия крупномасштабного электрического поля между атмосферой и Землей, а также осцилляции атмосферного тока. До настоящего времени однозначное определение механизмов, направляющих эти процессы, является центральной проблемой физики атмосферы. Главной причиной такого положения является исключительная переменчивость физических условий в атмосфере, крайне осложняющая задачу прогноза и управления погодой. Одним из необходимых условий для решения этой проблемы в каждом конкретном случае является определение крупномасштабной гидродинамической картины движения водяных капель в облаках, которая в первом приближении определяется известной формулой Стокса, отображающая одновременное действие сил земного притяжения и электрического поля на каплю

$$V = (mg - qE)/6\pi\eta r, \quad (1)$$

где V -скорость падения капли, m – масса, q -заряд, E – напряженность электрического поля, r – радиус капли, η – коэффициент кинематической вязкости воздуха g -ускорение силы тяжести. Заряд капли определяется формулой: $q = \varepsilon_0 \xi r$, ξ – электрохимический потенциал воды, ε_0 -диэлектрическая постоянная вакуума.

Согласно формуле (1), в том случае, когда электрическая сила действующая на каплю, является соизмеримой с силой свободного падения, процесс падения капли в значительной степени зависит от электрического фактора. Эта зависимость не является однозначной, т.к. направление крупномасштабного (суммарного) электрического поля внутри облака и ее интенсивность, в свою очередь, зависят от процесса поляризации капель. Уровень этого эффекта, наряду

с термодинамическими условиями в облаке, определяют поверхностная плотность и подвижность заряда капли. Исходя из флуктуационной природы этих характеристик, гидродинамическая скорость капля является достаточно вариабельным параметром, определяющим режим атмосферных осадков. В частности, в случае равенства гравитационных и электрических сил из формулы (1) можно определить минимальный характерный размер водяных капель (1): $\approx 0,5-1/\mu\text{км}$ [17]. Капля таких размеров, масса которой $m = 10^{-14} - 10^{-15} \text{ г}$, будет взвешенной в облаке. Очевидно, что в случае, когда сила тяжести превышает абсолютную величину электрической силы, капля может двигаться вертикально вниз. Возрастание плотности размежеванных зарядов должно способствовать поляризации облака и интенсификации электрического поля. Этот процесс должен происходить в условиях систематических флуктуаций, ввиду чего образование крупномасштабного стабильного термодинамического режима и квазистационарной электродинамической картины внутри облака представляется невозможным. Хотя, если электрическое поле, в течение некоторого промежутка времени, в облаке будет стабильным, то будет существовать возможность установления равновесного, хотя и некоторой степени неустойчивого положения. В таком случае инверсия электрического поля в пространстве между атмосферой и Землей, происшедшая по какой-либо причине, может оказаться триггером для развития неустойчивости в облаке, которая, наряду с атмосферными осадками, может генерировать также и электрические разряды. Например, согласно одной из модификации модели «хорошей погоды», положительно заряженные капли, имеющие меньшие размеры по сравнению с отрицательно заряженными каплями, образуют т.н. электросферу [17]. В этой модели особая роль отведена эффекту торможения галактических космических лучей, как источнику генерации атмосферного заряда. Считается, что имеющие большую массу отрицательно заряженные капли падают на земную поверхность, которая таким путем приобретает отрицательную полярность. Соответственно, в результате электрической индукции, нижняя кромка облака приобретает положительную полярность. Выходит, что подобно модели Френкеля, и в модифицированной модели, инверсия атмосферного электрического поля, т.е. изменение полярности поверхности Земли может быть вызвана только при условии изменения метеорологического режима. Но это явление находится в зависимости от набора термодинамических параметров облака, а также от плотности атмосферных аэрозолей [18]. Возникает вопрос, связанный с возможностью существования такого альтернативного механизма инверсии атмосферного электрического поля, который не будет напрямую связан с термодинамическими преобразованиями в облаке. Может ли такой механизм изменить метеорологический режим, т.е. станет ли обратимой причинно-следственная связь между изменением погоды и инверсией атмосферного электрического поля? Представляется, что альтернативный механизм изменения полярности атмосферного электрического поля допускает модель собственных колебаний контура сегмента системы Литосфера-Атмосфера-Ионосфера, суть которой будет дана ниже. При помощи этой модели можно достаточно просто объяснить причину инверсии атмосферного электрического поля. Она допускает возможность генерации стоячих электромагнитных волн между Землей и атмосферой, что является возможным при определенных физических условиях, возникающих на некотором участке земной поверхности. Можно рассмотреть еще один вариант инверсии, может произойти в случае появления в атмосфере локального теплового источника вследствие, например, развития кратковременного локального парникового эффекта в зоне облачности. Такой источник, в совокупности с гравитационным полем, в перенасыщенной водой облачной среде может стать причиной трансформации свободной конвекции жидких капель в вынужденно конвективное движение. Действительно, подобно жидкости, находящейся в режиме стационарной свободной конвекции, в квазиравновесном облаке действие теплового источника может генерировать сильное возмущение крупномасштабной гидродинамической картины. В процессе движения, наряду с рекомбинацией противоположно заряженных капель, а также, несмотря на куло-

новское отталкивание, возможно слияние капель с различными массами, но одинаковой полярности. В результате такого укрупнения должна уменьшиться суммарная площадь поверхности капель, что может способствовать неоднородному изменению плотности заряда в облаке. В результате этого может возникнуть эффект резкого усиления поляризации между верхней и нижней границами облака. Это, по закону электромагнитной индукции, в области проекции облака может повлиять на полярность земной поверхности, т.е. будет иметь место локальная инверсия атмосферного электрического поля. Этот эффект является неоднозначным, т.к. разряды как внутри облака, а также и между облаком и Землей, могут прекратить процесс изменения полярности.

Волновой механизм действия космического электромагнитного излучения. Известно, что солнечная радиация оказывает прямое воздействие на органическую материю, т.е. на жизнь. Процесс ионизации является основным источником генерации электрических зарядов в околоземной космической среде, составляющей ближайшую область магнитосферы [19]. Ионизация определяет энергетический баланс между космосом и Землей, который в значительной мере зависит от взаимодействия типа волна- частица в ионосфере, а также, в некоторой степени, в атмосфере Земли. Такое взаимодействие имеет место между электромагнитными волнами и заряженными частицами, составляющими плазменную компоненту околоземной космической среды. Эффект взаимодействия в основном осуществляется длинными волнами электромагнитного излучения Солнца. Эти волны являются низкочастотными и их спектр фактически совпадает со спектром волн, генерируемых плазменными неустойчивостями в радиационных поясах магнитосферы, из которых ближайшим к земле является нижняя ионосфера (слои E и D). Естественно, что в нейтральной нижней атмосфере взаимодействие типа волна-частица не может развиваться по аналогии с магнитосферной средой. Кроме того, считается, что ионизирующее действие особо энергичных галактических космических лучей в нижней атмосфере может вызвать эффективное изменение термодинамических характеристик среды только при условии активной эманации радона, который является альтернативным источником атмосферных зарядов. В таких случаях инфракрасное излучение Солнца способно оказать влияние на атмосферное электрическое поле и, следовательно, на погоду. Существует теоретическая модель, которая связывает интенсификацию атмосферного инфракрасного излучения с длиной волны /0.7-20/ мкм и аномальные изменения атмосферного электрического поля в эпицентральной области будущего землетрясения. [19]. Подобный эффект, который должен иметь место на фоне инверсии электрического поля, был объяснен в рамках теории Френкеля. Однако, эта модель требует выполнения особых условий. В частности, считается необходимой не только эманация источника заряженных частиц альфа-частиц, радона, но и достаточная плотность атмосферных аэрозолей в эпицентральной зоне. Квазистационарное действие данного фактора должно вызвать аномально сильные всплески (Sprite) атмосферного электрического поля для того, чтобы энергия поля достигла предела, необходимого для генерации инфракрасного излучения. Таким образом, данная модель и ее последующая модернизация оказались достаточно полезными с точки зрения наглядного представления механизма генерации инфракрасного излучения в нижней атмосфере [20]. Однако, схема событий, следуя обсуждаемой модели, достаточно искусственна, т.к. для ее реализации требуется выполнение достаточно жестких условий. Например, необходимой является достаточно интенсивная эманация радона из Земли, а также амплитуда всплесков атмосферного электрического поля должна достигнуть аномально большой величины по сравнению с атмосферным электрическим полем: $E_c \sim /1000-3000/ \text{ В/м}$. Кроме этого надо учесть, что произведение длины свободного пробега на величину заряда заряженных частиц и напряженность электрического поля определяет энергию частицы, которая необходима для излучения инфракрасных волн длиной /2-15/ мкм. В случае аномально сильного электрического поля, в облаке нормальной высоты, для генерации инфракрасного излучения достаточная вели-

чина длины свободного пробега частицы: ~ 7 мкм. Если высота облака возрастет до 5-10 км, то длина свободного пробега возрастет из-за уменьшения плотности среды. Поэтому, инфракрасное излучение может быть вызвано даже в случае всплеска атмосферного электрического поля малой интенсивности. Соображение об изменении длины свободного пробега частиц в общем является справедливым. Однако, следуя модели собственных колебаний контура системы Литосфера-Атмосфера-Ионосфера (ЛАИ), длина свободного пробега частиц может меняться также и по другой причине. В некоторой области атмосферы электрическое поле может осциллировать с частотой собственных колебаний контура. В зависимости от размера контура частота колебаний охватит практически весь спектр ОНЧ электромагнитного излучения, наиболее высокие частоты которого могут иметь порядок $\sim 10^6$ Гц. Флуктуации величины и направления электрического поля, вызванные осцилляциями атмосферного электрического поля, из-за различной подвижности заряженных частиц (в том числе водяных капель), могут стать причиной конвективной неустойчивости, т.е. нестабильности облака. В результате, из-за интенсификации хаотического движения частиц, может уменьшаться длина свободного пробега.

Модель собственных колебаний контура сегмента системы ЛАИ. Согласно этой модели, локальная инверсия атмосферного электрического поля может являться следствием образования пространственного электромагнитного контура на некотором сегменте системы ЛАИ, который можно считать пространственным аналогом обычного электромагнитного контура. Основанием модели является часто фиксируемый факт появления ОНЧ электромагнитного излучения на последней стадии подготовки землетрясения. Считается, что излучение в диапазоне частот: $10^3 - 10^6$ Гц может быть связано с образованием магистрального разлома в Земле. Математическое отображение физической сути этой модели дается зависимостью [21]

$$\omega = \beta \frac{c}{l}, \quad (2)$$

где ω - основная частота колебательного электромагнитного контура, c – скорость света, l - длина разлома, $\beta \leq 1$ - коэффициент неоднородности среды. Очевидно, что случай $\beta = 1$ должен считаться идеальным, т.к. при строгом суждении следует принять во внимание два фактора: неоднородность Земли и погрешность при определении линейного параметра l . Однако, идеальное приближение является достаточно справедливым для большинства землетрясений умеренной силы, сейсмический эффект которых является ощутимым на малых расстояниях от эпицентра события. Но в некоторых случаях может существовать неоднозначность, связанная с длиной параметра l и по другой причине. В частности, характерный линейный размер электромагнитного контура может быть связан не только с магистральным разломом. Такое возможно, например, если геологическая структура вблизи гипоцентра землетрясения является особенной. В конце 2012 г. в течение нескольких недель в Черном море недалеко от магнито-электрической аномалии Цкалцинда-Уреки произошла серия землетрясений. Оказалось, что в случае двух самых сильных землетрясений из данного “роя” основная частота ОНЧ электромагнитного поля, с большой долей вероятности, не была связана с длиной какого-либо из существующих вблизи морских глубинных разломов, расходящихся подобно ветвям от магистрального разлома длиной более 70 км. Как было показано в работе [22], наиболее вероятно, что в этих двух случаях основная частота ОНЧ излучения, зафиксированная на ионосферной станции Табахмела, соответствовала максимально возможной длине замкнутой цепи индуцированных теллурических токов, генерированных в зоне аномалии.

Моделирование осцилляции жидких капель. Можно предположить, что в пределах аналогового контура в облаке может возникнуть явление резонанса, связанное с осцилляциями жидких капель. Для подобного эффекта, исходя из малых размеров капель, согласно формуле (2), необходимы минимальные размеры параметра l . Изначально, задача собственных колебаний

жидких капель, а также воздушных пузырей, является предметом теоретической гидромеханики. Очевидно, что резонансный эффект в облаках, который обсуждался выше, может быть максимальным в том случае, когда частота осцилляции атмосферного поля будет совпадать с основной (минимальной) с частотой собственных колебаний капли. Математическая основа модели собственных колебаний жидкой капли будет дана ниже. Тут приведем только окончательную формулу, определяющую спектр циклических частот механических колебаний капли сферической формы в вакууме (ниже плотностью воздуха пренебрегается). Она получена в линейном приближении, когда амплитуда стоячих волн меняется по закону: $\xi \sim \xi_0 \exp(-i\omega t)$

$$\omega_n^2 = \frac{\alpha}{\rho r^3} n(n-1)(n+2), \quad (3)$$

где α – коэффициент поверхностного натяжения воды, ρ – плотность, r – радиус капли, $n=2,3\dots$ Следовательно, для минимальной частоты колебаний капли ($n=2$) будем иметь

$$\omega_{min}^2 = 8\alpha/\rho r^3. \quad (4)$$

Размер капель в облаках меняется в достаточно широком интервале: $r = /0.1-50/$ мкм, но наиболее вероятной величиной радиуса является $/1-10/$ мкм. Согласно формуле (4), основная частота собственных колебаний таких капель будет меняться в диапазоне $/0.7-25/$ мГц.

Незаряженная капля

Причиной собственных гидромеханических колебаний жидкой капли является слабое возмущение ее равновесной формы, которое под влиянием поверхностного натяжения способствует проявлению эффекта упругости. Математическим отображением этого физического процесса является формула Лапласа

$$P_1 - P_2 = \alpha \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (4)$$

где P_2 и P_1 – давления на внутренней и внешней границе жидкой капли,

R_1 и R_2 – главные радиусы кривизны поверхности деформированной сферической капли. Следовательно, равновесным телом считается сфера, фигура высшей симметрии. Поэтому можно считать, что малые возмущения формы сферической капли вызывают вариации лишь одной (радиальной) координаты, что максимально упрощает оператор Лапласа [23]. К примеру, решение аналогичной задачи собственных колебаний вытянутого эллипсоида вращения, имеющего более низкую степень симметрии по сравнению с сферой, требует вариацию уже по двум переменным. Это приводит к существенным математическим осложнениям, ввиду чего нам известно лишь одно приближительное аналитическое решение этой задачи [24]. В этих работах математическая проблема, связанная с оператором Лапласа, была преодолена при помощи сравнительной качественно-количественной оценки его отдельных составляющих. В результате упрощений было получено выражение для спектра частот собственных колебаний капли, имеющей форму вытянутого эллипса

$$\omega_n^2 \approx \frac{\alpha}{\rho a^3 \left[(\sigma^2 - \tau^2)(\sigma^2 - 1) \right]^{1/2}} \left[(n-1)(n+2) - \frac{m^2}{1-\sigma^2} \right] \frac{d}{d\sigma} \ln X(\sigma) \quad (4)$$

где σ, τ – эллипсоидальные координаты, a – половина межфокусного расстояния, $\sigma \geq 1, \tau$ меняется в интервале: ± 1 . В случае сферического приближения: $m=0, a\sigma \rightarrow r$, эксцентриситет эллипса $\rightarrow 1$, выражение (4) переходит в (2)

В обоих случаях использовалось внутреннее решение радиального уравнения Эйлера

$$r^2 \frac{d^2 X}{dr^2} + 2r \frac{dX}{dr} - n(n+1)X = 0, \quad (5)$$

общее решение которого для сферы имеет вид: $X = A_n r^n + B_n r^{-(n+1)}$, где A_n, B_n постоянные.

Внутренним решением радиального уравнения является r^n , а внешним решением $r^{-(n+1)}$. Для эллипсоида переменной, по которой происходит вариация, является σ .

Присутствие числа m , которое появляется только в случае эллипсоида, означает расщепление основных мод. $m = [-n \div n]$, т.е. принимает $2n+1$ значения. Заметим, что появление члена с m приводит к увеличению частот по мере роста этого параметра. Когда эллипсоид стремится к сфере, вырождение колебаний отсутствует ($m = 0$).

Заряженная капля. В 1882 году лорд Рэлей опубликовал работу, получил решение задачи устойчивости капли радиусом R и коэффициентом поверхностного натяжения α , несущую собственный заряд Q по отношению к малому возмущению поверхности капли. Суть метода Рэля состояла в решении уравнения Лагранжа с составлением Лагранжиана, для чего было задано малое возмущение сферической поверхности в виде ряда Лапласа. В данной работе рассчитывалась потенциальная энергия зарядов на поверхности капли, потенциальная энергия капиллярных сил и кинетическая энергия движения частиц жидкости. Предположив, что компоненты возмущения пропорциональны стоячим волнам на поверхности капли, Рэлей вывел соотношение для частот осцилляций ω . Отрицательные значения квадрата частоты интерпретировались как состояние неустойчивости поверхности капли. Из условия, разделяющего реальные и мнимые частоты автор теоретически получил условие устойчивости заряженной капли [25]

$$\omega_n^2 = \frac{\alpha}{\rho r^3} n(n-1)[(n+2) - W], \quad (6)$$

где $W = Q^2/4\pi\alpha r^3$ – т.н. параметр Рэля, Q – заряд капли, R – радиус капли.

Важным результатом, вытекающим из формулы (6), является существование численного порога неустойчивости для любой из частот в спектре колебаний заряженной жидкой капли. Следовательно, критическая величина параметра Рэля меняется для различных мод капиллярных осцилляций. Например, для основной частоты ($n=2$) этот параметр является минимальным: $w = 4$.

Аналогично, для заряженного эллипсоида вращения будем иметь трансформированную формулу (6)

$$\omega_n^2 \approx \frac{\alpha}{\rho a^3 [(\sigma^2 - \tau^2)(\sigma^2 - 1)]^{\frac{1}{2}}} (n-1) \left[(n+2) - \frac{m^2}{1-\sigma^2} - W \right] \frac{d}{d\sigma} \ln X(\sigma) \quad (7)$$

где $\frac{d}{d\sigma} \ln X(\sigma) = n/\sigma$.

Очевидно, что в линейном приближении заряженная жидкая капля может оказаться неустойчивой даже по отношению к бесконечно малым виртуальным деформациям ее поверхности с амплитудой ξ_0 , порядок которым задается полиномом Лежандра, например: $\xi = \xi_0 P_2(\cos\theta)$. Причиной возбуждения таких деформаций может являться тепловое движение молекул жидкости. Следовательно, подобно сфере, для заряженного эллипсоида также должны существовать критические величины числа Рэля, при которых соответствующие им амплитуды колебаний со временем могут экспоненциально возрастать: $\xi \sim \exp(\chi t)$, где χ – инкремент неустойчивости. Например, в линейном приближении, было получено [25]

$$\chi^2 = \frac{2\alpha}{\rho r^3} [W(e^2) - 4] \quad (8)$$

где e -эксцентриситет сфероида, квадрат которого связан с амплитудой малого возмущения с точностью до малых второго порядка по отношению $\frac{\xi_0}{r}$. Увеличение амплитуды означает дальнейшее вытягивание эллипсоида, увеличение его эксцентриситета и, следовательно, возрастание параметра неустойчивости. Однако, как оказалось, этот процесс переходит в нелинейную стадию и, в определенный момент, может произойти сброс заряда жидкой капли [26]. Среди таких исследований представляется работа [27], целью которой являлось моделирование переменного электрического поля, связанного с капиллярными колебаниями водяных капель в наэлектризованных облаках. Электродинамическая часть этой работы вытекает из уравнений Максвелла и опирается на капиллярные колебания, спектр которых задан формулой (1). Решения для электрического поля представлены в виде разложения по сферическим функциям. Численные оценки были проведены для капель наиболее вероятных размеров, радиус которых: $r \sim 1-10^3$ / мм. Оказалось, что излучение, обусловленное зарядом капли, сравнимо с излучением поляризационных токов только при минимальной величине внешнего электрического поля. Оно составило: $E = 5/10^{-3} - 10^{-2}$ / В/м, т.е. величину, на несколько порядков меньше характерной интенсивности атмосферного электрического поля. Отсюда было сделано заключение (спорное на наш взгляд), что влияние заряда колеблющейся капли на ее электромагнитное излучение является пренебрежимо малым и не влияет на излучение других капель. Оценка максимальной спектральной интенсивности электрического поля, генерируемого капиллярными колебаниями в облаке с типичными параметрами, дала величину: $I = 10^{-5}$ мкВ/Гц^{1/2}, что намного меньше величины электромагнитного поля, генерируемого конвективными облаками в диапазоне частот $1-10^3$ /Гц. В результате дано заключение, что переменные электрические поля, вызванные случайными (несинхронизированными) колебаниями как заряженных, так и электрически нейтральных капель в электризованных облаках, не дают заметного вклада в волновые и квазистатические электрические поля облаков. Эти капли считаются заряженными и находятся во внешнем атмосферном, либо в локальном крупномасштабном поляризационном поле облака.

Заключение

1. При рассмотрении вопроса о влиянии капиллярных колебаний заряженных капель на электрические процессы в облаках следует учесть, что возмущение электрического поля атмосферы может возникнуть по нескольким причинам. В настоящей работе внимание акцентировано на излучение водяных капель, которое, несмотря на ничтожный вклад в энергетический баланс облака, тем не менее, может играть заметную роль в атмосферных процессах. В частности, в связи с возможностью развития неустойчивости из-за электризации водяных капель возникает несколько вопросов: насколько важными являются колебания водяных капель с точки зрения их влияния на метеорологический режим?; способствуют ли эти колебания ощутимому изменению картины крупномасштабного гидродинамического движения в облаке?; какое влияние оказывают форма и размеры капель на развитие неустойчивости?; что является более вероятным на фоне капиллярных колебаний-слияние водяных капель или их дробление?; как влияют электрические эффекты на интенсивность атмосферных осадков или на процесс образования градин? Однозначные ответы на эти вопросы, а также на множество других подобных вопросов найти трудно. Однако, имеется достаточное количество исследований, которые в определенной степени содержат информацию, полезную для анализа отдельных блоков общей проблемы. Объектом особого интереса следует считать электрическое поле, вызванное электромагнитной индукцией между атмосферой и Землей, вызванной теллурическими токами; индукцией

между облаком и нижними слоями ионосферы; конвективными флуктуациями заряженных аэрозолей в пределах облака, генерирующими поляризационные токи. Такие электрические поля вызывают изменения распределения заряда на поверхности капли, которая подвержена изменениям, происходящим из-за малых возмущений. Этот процесс, вызывает генерацию микро-токов и связанное с ней электромагнитное излучение. Ее интенсивность будет зависеть от изменений поверхностной плотности заряда капли, которая должна меняться в процессе капиллярных колебаний. Возникшее при этом поле будет вносить вклад в более интенсивное квазистатическое (поляризационное) поле электризованных конвективных (грозовых) облаков.

2. Представляется интересным что произойдет, если появится внешний, по отношению к облаку, механизм, способствующий синхронизации капиллярных колебаний капель? Таким механизмом, например, может оказаться очень низкочастотное электромагнитное излучение (ОНЧ), источником которого могут быть плазменные колебания в ионосфере или электротеллурические эффекты в Земле. Например, в области эпицентра будущего землетрясения в поверхностном слое могут существовать условия для генерации поляризационных зарядов. Поэтому, из-за эффекта электромагнитной индукции между землей и нижней ионосферы на этом сегменте системы ЛАИ может иметь место инверсия атмосферного электрического поля и образуется электромагнитный контур. Собственные колебания данного контура, задающие частоту осцилляции атмосферного электрического поля, могут резонировать со спектром капиллярных колебаний капель облака. Интенсификация колебаний может уменьшить длину свободного пробега заряженных аэрозолей облака. Ввиду этого условие для генерации инфракрасного излучения облака станет более жестким, т.е. интенсивность всплесков электрического поля может оказаться недостаточной для генерации интенсивного излучения. Такая схема событий не исключает возможность развития нелинейного резонанса внутри облака при совпадении частот капиллярных колебаний капель и электромагнитного контура на некотором сегменте системы ЛАИ. Вследствие такого резонанса капли могут излучать электромагнитные волны ОНЧ диапазона, что может повысить вероятность развития неустойчивости в облаке, следствием которой может произойти быстрое слияние водяных капель и, следовательно, изменение локального метеорологического режима.

ლიტერატურა – References – Литература

- [1] Williams E.R. Lightning and Climate: A Review, Proc. 12th Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Versailles, France, 9-13 June, vol.2, 2003, pp. 665-668.
- [2] Ландсберг Г.Е. Климат города, Л., Гидрометеиздат, 1983, 248 с.
- [3] Амиранашвили А.Г. Влияние антропогенного загрязнения атмосферы на изменчивость интенсивности градовых процессов. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, том. 64, Тбилиси, 2013, с. 160-177.
- [4] Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Gzirishvili T.G., Kharchilava J.F., Tavartkiladze K.A. Modern Climate Change in Georgia. Radiatively Active Small Atmospheric Admixtures. Institute of Geophysics, Monograph, Trans. of M. Nodia Institute of Geophysics of Georgian Acad. of Sc., ISSN 1512-1135, vol. LIX, 2005, 128 p.
- [5] Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V. Photochemical smog in Tbilisi. Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakishvili Tbilisi State University, ISSN 1512-1135, vol. LXIII, 2012, 160 p., (in Georgian).
- [6] Ayers G.P., Bigg K.K., Turvey D.E. Aitken Particle and Cloud Condensation Nucleus Fluxes in the Plume from an Isolated Industrial Source. J. Appl. Meteor., vol. 18, No 4, 1979, pp. 449-459.
- [7] Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы, Л., Гидрометеиздат, 1975, 448 с.

- [8] Muraleedharan T.S., Subba Ramu M.S., Vohra K.G. Experimental Studies of the Formation of Aitken Nuclei in the Atmosphere. Proc. 11th Int. Conf. on atmospheric aerosols, Condensation and Ice Nuclei, Budapest, Hungary, 3-8 September, vol.1, 1984, pp. 52-57.
- [9] Amiranashvili A.G. On the Role of Cosmic and Radioactive Radiation on the Formation of the Secondary Aerosols in Atmosphere. Int. Conference "Near-Earth Astronomy 2007" Abstract, Terskol, Russia, 3-7 September 2007, p. 85.
- [10] Amiranashvili, A.G., Amiranashvili, V.A., Bakradze, T.S., Chikhladze, V.A., Glonti, N.Ya., Kharchilava, J.F., Tuskia, I.I – On the Influence of Cosmic Rays on the Secondary Aerosols Formation in the Atmosphere. 7th Int. Conference "Problems of Geocosmos", Abstract, St. Petersburg, Russia, 26 – 30 May, 2008.
- [11] Ширяева С.О., Петрушов Н.А, Григорьев А.И. О линейном по безразмерной амплитуде осцилляции взаимодействия мод несферической заряженной капли во внешнем электрическом поле. Журнал технической физики, т. 86, в.1, 2016, с. 37-44.
- [12] Григорьев А.И., Колбнева Н.Ю., Ширяева С.О. Излучение электромагнитных волн осциллирующей сильно заряженной каплей. Журнал технической физики, т.86, в.8, 2016, с. 68-75.
- [13] Ширяева С.О., Петрушов Н.А., Григорьев А.И. Об устойчивости сильно заряженной капли, подвешенной в суперпозиции гравитационного и электростатического полей. Журнал технической физики, т.89, в. 8, 2019, с. 1183-1189.
- [14] Ширяева С.О. Нелинейный анализ равновесной формы заряженной электропроводной капли в электрическом поле. Журнал технической физики, т.76, в.10, 2006, с.32-40.
- [15] Шутов А.А. Форма капли в постоянном электрическом поле. Журнал технической физики, т. 72, в. 12, 2002, с. 15-22.
- [16] Harrison R., Maarten H.P. Giles and Ambaum. Observed atmospheric electricity effect on Clouds. Environ. Res. Lett. 4, 2009, 014003 (5pp). doi:10.1088/1748-9326/4/1/014003
- [17] Kuznetsov V. Novel model of atmospheric electric field. Institute of Space Physics Researches, Kamchatka, Russia, 2007. vvkuz.ru/books/aep.pdf., (in Russian).
- [18] Frenkel I.I. Theory of the atmospheric electricity phenomena. Leningrad-Moscow, 1949, (In Russian).
- [19] Akasofu S.I., Chapman S. Solar-Terrestrial Physics. OXFORD, Clarendon Press, 1972.
- [20] Liperovsky V.A., Meister C.-V., Liperovskaya E.V., Bogdanov V.V. On the generation of electric field and infrared radiation in aerosol clouds due to radon emanation in the atmosphere before earthquakes. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, 2008, pp. 1199–1205, doi:10.5194/nhess-8-1199-2008.
- [21] Kachakhidze M., Kereselidze Z., Kachakhidze N. The Model of Own Seismoelectromagnetic Oscillations of LAI System. Solid Earth, 2, 2011, pp. 17–23. www.solid-earth.net/2/17/2011/ doi:10.5194/se-2-17-2011.
- [22] Kvavadze N., Kereselidze Z. Possibiliti of Resonant Amplification of VLF Electromagnetic Radiation Associated with Near Tskaltsminda-Ureki Area. Bull. Georg. Nat. Acad. Sci., vol. 13, no. 4, 2019, pp.60-66.
- [23] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. Москва, Наука, 1988.
- [24] Kereselidze Z., Gegechkori T., Tsereteli N., Kirtskhalia V. Modeling of Elastic Waves Generated by a Point Explosion. Georgian International Journal of Science and Technology. Nova Publishers, V. 2, Issue 2, 2010, p.155-166, https://www.novapublishers.com/catalog/product_info.php?products_id=14264
- [25] Григорьев А.И. Об инкременте неустойчивости незаряженной капли в однородном электростатическом поле. Письма в ЖТФ, т. 24, №24, 1998, с. 36-40.
- [26] Григорьев А.И., Ширяева С.О., Жаров А.Н., Коромыслов В.А. Нелинейные осцилляции заряженных капель. Часть 2. Внутреннее резонансное взаимодействие и излучение. Электронная обработка материалов, №4, 2005, с. 24-34.
- [27] Богатов Н.А. Переменное электрическое поле, генерируемое капиллярными колебаниями капель электризованных облаков. VII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству. Сб. трудов, 24-28 сентября 2012, Санкт-Петербург, с.7-10.

О ВЛИЯНИИ КАПИЛЛЯРНЫХ КОЛЕБАНИЙ КАПЕЛЬ НА МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ОБЛАКАХ

Кереселидзе З.А., Амираншвили А.Г.

Реферат

Проведен подробный анализ возможного влияния капиллярных колебаний капель на микрофизические и электрические процессы в облаках.

Ключевые слова: облачные капли, капиллярные колебания, электричество облаков, осадки.

წვეთების კაპილარული რხევების გავლენის შესახებ ღრუბლებში მიმდინარე მიკროფიზიკურ და ელექტრულ პროცესებზე

კერესელიძე ზ., ამირანაშვილი ა.

რეზიუმე

ჩატარებულია ღრუბლებში მიკროფიზიკურ და ელექტრულ პროცესებზე წვეთების კაპილარული რხევების შესაძლო გავლენის დეტალური ანალიზი.

საკვანძო სიტყვები: ღრუბლის წვეთები, კაპილარული რყევები, ღრუბლის ელექტრობა, ნალექები.

ON THE INFLUENCE OF CAPILLARY OSCILLATIONS OF DROPS ON MICROPHYSICAL AND ELECTRIC PROCESSES IN CLOUDS

Kereselidze Z., Amiranshvili A.

Abstract

A detailed analysis of the possible influence of capillary oscillations of drops on microphysical and electrical processes in clouds has been carried out.

Key words: cloud drops, capillary fluctuations, cloud electricity, precipitation.

შოვის (საქართველო) კატასტროფის შესაძლო გამომწვევი მიზეზები

კერესელიძე ზ., ვარამაშვილი ნ.

*ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
მიხეილ ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი
nodar.varamashvili@tsu.ge*

კავკასიონის მყინვარებზე პირველი სისტემატური დაკვირვებები დაკავშირებულია მდინარე თერგის ხეობაში დევდორაკის მყინვარის პერიოდული მოძრაობების შედეგად მე-18 საუკუნის ბოლოს – მე-19 საუკუნის დასაწყისში ყინულის კატასტროფული გამოტყორცნების შესწავლასთან [12]. მყინვარი დევდორაკი, რომელიც მდებარეობს მყინვარწვერის აღმოსავლეთ კალთაზე, ცნობილია XIX საუკუნის ბოლოდან მდინარე თერგის კანიონში ყინულის კატასტროფული გამოყოფით. ე.წ. „ყაზბეგის ხერგილები“ კეტავდა მდინარის დინებას, რაც იწვევდა ტბის წარმოქმნას. ტბის გარღვევისას ადგილი ჰქონდა დიდ წყალდიდობას. ასეთი მოვლენების მტკიცებულება ხელმისაწვდომია 1776, 1785, 1808, 1817 და 1832 წლებში. ბლოკირება დიდი ხნის განმავლობაში აფერხებდა მოძრაობას საქართველოს სამხედრო გზაზე. შემდგომში ხანდახან ხდებოდა მყინვარული პულსაციები, მაგრამ ისინი ვერასოდეს აღწევდნენ მდინარე თერგამდე. წინა კატასტროფების შემდეგ, დევდორაკის მყინვარი არ წარმოადგენდა საფრთხეს დაახლოებით ორი საუკუნის განმავლობაში. XIX საუკუნის II ნახევრის მყინვარწვერის მყინვარების შესწავლისას, მეცნიერებმა, რომლებიც აკვირდებოდნენ ახალგაზრდა მოვლენებს, დაადგინეს, რომ მყინვარები უკან იხევენ და მათი ზომა მცირდება. დაასკვნეს, რომ დევდორაკის მყინვარმაც ამ პირობებში ძალა დაკარგა და მოძრაობისას თერგის ხეობას ვეღარ აღწევდა. ყაზბეგის ფერდობებზე ცნობილია სხვა პულსირებული მყინვარების მოძრაობაც – აბანოს, ჩაჩის, მნას – მეოცე საუკუნის დასაწყისში და შუა საუკუნეში. თუმცა, ნამდვილი კატასტროფები მოჰყვა მასივის ჩრდილოეთ ფერდობზე 2002 წლის უზარმაზარ კატასტროფას, პულსირებადი კოლკას მყინვარის საგებიდან ყინულის გამოტყორცნით. დარიალის ხეობაში, ყაზბეგის ძველი ხერგილების შემდეგ, სტიქიური უბედურება როდესაც მდინარე თერგის კალაპოტი სრულად გადაიკეტა, თითქმის ორი საუკუნის შემდეგ – 2014 წლის მაისში კვლავ მოხდა. კვლავ მოხდა ყინულისა და კლდის მოულოდნელი ნგრევა დევდორაკის მყინვარის ფირნის რეგიონში.

მყინვარ თბილისაზე განვითარებული მოვლენების რიგითობის დადგენა განსაკუთრებული მნიშვნელობის ამოცანას წარმოადგენს. ბუნებრივია, რომ მისი გადაწყვეტის გარეშე შეუძლებელი იქნება შოვის ტრაგედიის მიზეზების სრულფასოვანი ანალიზი, რომლის საფუძველზეც უნდა ჩამოყალიბდეს კატასტროფის ზუსტი ფიზიკური სურათი. სხვანაირად შეუძლებელი იქნება მსგავსი მასშტაბების მქონე ბუნებრივი კატასტროფებისაგან ადამიანების პრევენციის საიმედო სისტემის აგება და მისი რაციონალურად ფუნქციონირება.

დღევანდელი მოცემულობით, შოვის ღვარცოფთან დაკავშირებული სამეცნიერო ინფორმაცია მწირია და მისი მიზეზების სრულფასოვანი ანალიზის საშუალებას არ იძლევა. ინსტრუმენტული დაკვირვების მასალა ფაქტიურად არ არსებობს. გამონაკლისია მხოლოდ სეისმური მონიტორინგის ცენტრში მიღებული ინფორმაცია აკუსტიკური ტალღების დიაპაზონში დაფიქსირებული შემფოთების შესახებ, რომელიც მნიშვნელოვანია კატასტროფის მომენტის ფიქსაციის თვალსაზრისით. გარდა ამისა აღნიშნული ჩანაწერი უდავოდ ადასტურებს მცინვარქვემა წლის რეზერვუარის არსებობას. გვაქვს მოსაზრება, რომ ის ჩანაწერი შეიძლება სასარგებლო აღმოჩნდეს ჩამონადენი მცინვარქვემა წყლის მოცულობის საიმედოდ შეფასებისათვის, აუცილებელია მცინვარზე კომპლექსური გეოფიზიკური, გეოლოგიური და გეოგრაფიული ექსპედიციის ორგანიზაცია. აშკარაა, რომ ასეთი ღონისძიება ქვაკუთხედური მნიშვნელობისაა და მისი პირველი ეტაპი რაც შეიძლება სწრაფად უნდა განხორციელდეს.

ისმის კითხვა: რანაირად შეიძლება სეისმური მონიტორინგის მასალა გამოვიყენოთ მცინვარქვემა წყლის რეზერვუარის მოცულობის შესაფასებლად? კორექტული პასუხი ამ კითხვაზე შეიძლება მივიღოთ იმ შემთხვევაში, თუ მოხდება სეისმოგრაფის ჩანაწერის მაღალსიხშირული ნაწილის სპექტრალური ანალიზი, კერძოდ, განისაზღვრება სპექტრის ყველაზე დაბალი სიხშირე. ცნობილია, რომ ეს სიხშირე წარმოადგენს შემფოთებული მყარი სხეულის რხევის დისკრეტული სპექტრის საკუთარ სიხშირეს. ზოგადად, მცინვარისაგან განსხვავებული მახასიათებლების მქონე რაღაც სტრუქტურულ ნაწილს, მისი ლოკალური შემფოთების შემთხვევაში, შეიძლება ჰქონდეს საკუთარი რხევების სპექტრი შესაბამისი ძირითადი სიხშირით. მაგალითად, დიდი ალბათობით სავარაუდოა, რომ სწორედ მცინვარის ტანში არსებული წყლის რეზერვუარის კედლის ჩამოშლის დროს გენერირებული აკუსტიკური ტალღების სპექტრი აისახა სოფელ დარში, შოვისაგან დაახლოებით 25 კილომეტრის მოშორებით განთავსებული მაღალი მგრძნობიარობის მქონე სეისმოგრაფის ჩანაწერში. ამ ჩანაწერით პირველ რიგში დასტურდება, რომ კატასტროფის დროს ჰაერში არ გავრცელდა დარტყმითი ტალღა, რაც გარკვეულწილად მიუთითებს, რომ პროცესი მომენტალური ძლიერი მექანიკური იმპულსით არ დაწყებულა. ეს შეიძლება ნიშნავდეს, რომ კატასტროფა დაიწყო არა მცინვარის ენიდან ყინულის დიდი მასის მოწყვეტით, არამედ მცინვარქვემა წყლის რეზერვუარის მთლიანობის დარღვევით ლოკალურ უბანზე, რომლის ზომა სწრაფად, მაგრამ მაინც სასრული დროის განმავლობაში მკვეთრად გაიზარდა. შესაძლებელია, რომ სწორედ ამის გამო არ აღმოჩნდა ღვარცოფულ მასაში დიდი ზომის ყინულის ლოდები, რომლებიც უნდა წარმოქმნილიყვნენ მცინვარის ენის მასშტაბური მსხვერვის გამო. ამრიგად, შეიძლება დავუშვათ, რომ სწორედ რეზერვუარის კედლის დარღვევის თანადროულად დაიწყო აკუსტიკური ტალღების პაკეტის ემისია, რომელიც ყოველთვის თან ახლავს მექანიკური მსხვერვის პროცესს. ეს ტალღები გავრცელდა არამარტო ატმოსფეროში, არამედ დედამიწის ზედაპირულ ფენაშიც. საზოგადოდ, აკუსტიკური ტალღების ემისია სეისმური აქტივობის ზონიდან, ასევე უშუალოდ მიწისძვრის ჰიპოცენტრიდან, ჩვეულებრივი მოვლენაა. ამ ტალღების სპექტრი საკმაოდ მაღალსიხშირულია და მკვეთრად ემიჯნება სეისმური ტალღების სპექტრს. ბუნებრივია, რომ მათი გავრცელების არეალის ზომა დამოკიდებულია გარემოზე. მაგალითად, დედამიწის სიღრმეში გენერირებული აკუსტიკური ტალღების ფიქსაცია ჩვეულებრივ შესაძლებელია ემისიის წყაროდან დაახლოებით 30 კმ რადიუსის მქონე მანძილზე, რომელიც მაღალი მგრძნობიარობის მქო-

ნე აპარატურით დეტექტირების შემთხვევაში შეიძლება საკმაოდ გაიზარდოს. საინტერესოა, რომ აღნიშნული სეისმური მონაცემის მომწოდებელთა აზრით კატასტროფული ღვარცოფის ჩამოყალიბების პროცესში მონაწილეობდა მყინვარქვეშა წყლის ორი რეზერვუარი, რომლებიც გარკვეული დაყოვნებით დაიცალა. ასეთი რამ, ანუ მულტირეზერვუარების არსებობა ნამდვილად არ არის გამორიცხული. თუმცა, ასეთი მოსაზრება არ არის ცალსახა. არის ალტერნატიული ვარიანტი, რომ არსებობდა მხოლოდ ერთი რეზერვუარი. ასეთ შემთხვევაში შესაძლებელია, რომ მთლიანობა თავდაპირველად დაირღვა რეზერვუარის კედლის ზედა, ხოლო დაყოვნების შემდგომ, ქვედა ნაწილში. ასეთი სქემა შესაძლებელია ნაკლებად ალბათური იყოს, თუმცა მისი გამორიცხვა ჯერჯერობით არსებული მონაცემებით არაკორექტულად შეიძლება ჩაითვალოს. საეჭვოა, რომ ამ საკითხის გარკვევაში სიცხადე შეიტანოს მხოლოდ სატელიტური დაკვირვების მონაცემების ანალიზმა. მიგვაჩინია, რომ სარწმუნო სურათი შესაძლებელია აღვადგინოთ მხოლოდ მყინვარზე ექვიდენციის შემდეგ, მის არეში მომხდარი სტრუქტურული ცვლილებების გეომორფოლოგიური ანალიზის მონაცემებზე დაყრდნობით.

გარკვეული ალბათობით, აკუსტიკური ტალღების ჩანაწერში უნდა ჩანდეს კლდეზვავის ჩამოშლის შედეგად აღძრული აკუსტიკური ტალღების ნაწილი. ჩამოშლა სავარაუდოდ წინ უნდა უსწრებდეს წყლის რეზერვუარების მთლიანობის დარღვევას. ჩანაწერის ამ ნაწილით შესაძლებელია კლდეზვავის ხანგრძლივობის, მისი მოცულობის, ლოდების ზომების სპექტრის და პროცესის ენერჯის შეფასება [5]. ამ სტატიაში აღწერილი მეთოდით შესაძლებელია ქვათაცვენის ლოკაციის დადგენა 100 მეტრის სიზუსტით, თუმცა ამისათვის საჭიროა რამდენიმე ჩამწერი სადგური.

ცნობილია, რომ აკუსტიკური ტალღების გენერაცია ხშირ შემთხვევაში თან ახლავს მყინვარის, როგორც ერთი მთლიანი სხეულის ნელ მოძრაობას, აგრეთვე ყინულის სხვადასხვა ზომისა და ფორმის კლასტერების მსხვრევას. ამიტომ, აკუსტიკური ტალღების ემისიის მოვლენის, როგორც მყინვარული პროცესების ინტენსივობის ინდიკატორის, მონიტორინგისათვის იყენებენ სიხშირეთა დიაპაზონს /20-20000/ ჰერცი. გარდა ბუნებრივი დაკვირვებისა, აკუსტიკური ტალღების ემისია წარმოადგენს მყინვარების ლაბორატორიული მოდელირების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ელემენტს [1]. არსებობს ნაშრომი, რომელის მიხედვით მყინვარული პროცესების თანმდევი ხმაურის სპექტრის დაბალ სიხშირული ნაწილი /100-300/ ჰერცი დაკავშირებულია მთლიანად მყინვარის, ან ხაზოვანი მასშტაბით მისი თანაზომადი რომელიმე სტრუქტურული ნაწილის, საკუთარ მექანიკურ რხევებთან [2]. აქედან გამომდინარე, თუ გვეცოდინება სოფ. ღარში განთავსებული ხელსაწყოთი მიღებული აკუსტიკური ტალღების დისკრეტული სპექტრის ძირითადი სიხშირე, მარტივად შეიძლება შევაფასოთ მყინვარქვეშა წყლის რეზერვუარის ხაზოვანი მახასიათებელი ცნობილი კავშირის საშუალებით: $f_0 = v/d$, სადაც f_0 -სიხშირეა, v – ბგერის სიჩქარე დედამიწის გარემოში, d – მახასიათებელი ხაზოვანი ზომა. შესაბამისად, დისკრეტული სპექტრის ყველა მომდევნო სიხშირე შეიძლება მივიჩნიოთ ძირითადი სიხშირის ჰარმონიკებად. ჩვენს ამოცანაში მათ მხოლოდ ფონური ხმაურის ფუნქცია გააჩნიათ. თუმცა პიკური სიხშირეების მიმდევრობის დიაგნოსტიკა მაინც საინტერესოა, რადგანაც შემოწმდება რამდენად სამართლიანია მყარ დისპერსიულ გარემოში გავრცელებული აკუსტიკური ტალღებისათვის ჰარმონიული რხევების მიახლოება. სავარაუდოდ, ტალღური სპექტრი გადაგვარებული

უნდა იყოს მყარი ქანების ჩამოშლისა და ყინულის მცირე ზომის კლასტერების მრავლობითი წარმოქმნის გამო.

ამრიგად, წყლის რეზერვუარის მოცულობის შეფასება შესაძლებელი იქნება მხოლოდ მისი მახასიათებელი ხაზოვანი ზომის განსაზღვრის შემდეგ. აღვნიშნავთ, რომ სპექტრალური ანალიზის გარდა, აგრეთვე არსებობს მყინვარქვეშა წყლის რეზერვუარის (რეზერვუარების) მოცულობის მიახლოებითი შეფასების ირიბი შესაძლებლობა. ნაშრომში [2] მრავალრიცხოვანი განსხვავებული ხაზოვანი პარამეტრების მქონე მყინვარების დაკვირვების მასალის ანალიზის საფუძველზე მოცემული იყო f_0 -სიხშირის სიდიდის მახასიათებელი ინტერვალი /100-300/ ჰერცი. მყარ გარემოში აკუსტიკური და სეისმური ტალღების გავრცელების სიჩქარე ერთნაირია. ამიტომ, ამ პარამეტრის მახასიათებელ მნიშვნელობად მივიღოთ: $v \approx 5$ კმ/წმ. ფაქტიურად, ასეთი სიდიდე პირველადი და მეორადი სეისმური ტალღების საშუალოა. ამრიგად, სიხშირეთა ინტერვალის შესაბამისად გვექნება d პარამეტრის ცვლილების ინტერვალი: /50-17/ მ. მერხევი სხეულის მახასიათებელი ხაზოვანი ზომა 50 მ და 17 მ. რეზერვუარის მოცულობის შეფასებისათვის გამოვიყენოთ d რადიუსის ექვივალენტური სფერო. მაგალითად, სიხშირის ზღვრული მნიშვნელობებისათვის (100 ჰერცი და 300 ჰერცი) შესაბამისად გვექნება: $Q_1 \approx 500000$ მ³ და $Q_2 \approx 200000$ მ³ დაუზუსტებელი მონაცემებით, მდინარე ბუბასწყლის ხეობაში ჩამოტანილი ღვარცოფული მასის მოცულობა $Q \approx 1500000$ მ³. სავარაუდოდ, ამ მასის $\approx 20-30$ % იყო წყალი, რასთანაც Q_1 სიდიდე საკმაოდ კარგ თანხმობაშია. ამრიგად, სავარაუდოდ, თუ სეისმური ჩანაწერის მაღალსიხშირული სპექტრის ძირითადი სიხშირე, გარკვეულ ფარგლებში, 100 ჰერცის მახლობლად იქნება, ყინვარქვეშა რეზერვუარის (ან ორი რეზერვუარის) არსებობა ფაქტიურად ეჭვის გარეშე იქნება. ამ შემთხვევაში საჭირო იქნება სპექტრის ორი, ერთმანეთისაგან ცხადად განცალკევებული მონაკვეთის შესაბამისი ძირითადი სიხშირის განსაზღვრა.

მყინვარის დინამიკის მოდელირების ამოცანის ერთ-ერთი საკვანძო ელემენტია ყინულის სისქის განსაზღვრა, რისთვისაც გამოიყენება საკმაოდ მარტივი ფორმულა [3]

$$h = \frac{\tau}{f \rho g \sin \alpha} c, \quad (1)$$

სადაც h – ყინულის სისქეა, τ – ძვრადობის დაძაბულობა მყინვარის კალაპოტში, f – მყინვარის განივი კვეთის ფორმის მახასიათებელი კოეფიციენტი, ρ – ყინულის სიმკვრივე, g – სიმძიმის ძალის აჩქარება, α – ზედაპირის დახრის კუთხე, c – რაოდენობრივი შესწორების კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე განისაზღვრება გაზომვათა მონაცემების ანალიზის გზით.

მოდელურ გამოსახულებაში (1) შედის ორი ცვლადი პარამეტრი, ძვრის დაძაბულობა τ და მყინვარის ზედაპირის დახრის კუთხე α . ფორმის კოეფიციენტი f დაკავშირებულია ზედაპირული ხახუნის ეფექტთან მყინვარისა და მისი ჩამტევი მყარი გარემოს კონტაქტის არეში და შეიძლება იცვლებოდეს ინტერვალში /0,5-0,9/. ალპური მყინვარებისათვის, რომელთაც ალბათ მიეკუთვნება თბილისა, ეს კოეფიციენტი $\approx 0,8$. იმისათვის, რომ მოდელი (2) ფორმალურად თანხმობაში იყოს მოძრავი გარემოს იდეალური პლასტიკურობის მიახლოებასთან, ანუ დაკმაყოფილდეს ყინულის ძვრადობის მინიმუმაციის პირობა, აუცილებელია, რომ კუთხე α გასაშუალოდდეს გარკვეულ მანძილზე, რომელიც დაახლოებით ერთი რიგით აღემატება ამ მონაკვეთზე ყინულის სისქეს.

მცინვარის ძვრადობის დამაბულობისათვის არსებობს ემპირიული ფორმულა, განსაზღვრული მცირე გამცინვარების პერიოდის შემდეგ (მე14-18 საუკუნე) გამქრალი 62 მცინვარის მონაცემების სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე [3]

$$\tau = 0,005 + 1,598\Delta H - 0,435\Delta H^2 \quad (2)$$

სადაც ΔH -სიმაღლეთა სხვაობაა მცინვარის წვერსა და მის ფუძეს შორის.

(2) ფორმულიდან გამომდინარე, მსხვილი მცინვარებისათვის, რომელთა $\Delta H > 1,6$ კმ-ზე, ძვრის დამაბულობა შეადგენს დაახლოებით 150 კილოპასკალს (კპ). ერთი შეხედვით, თითქოს არ უნდა არსებობდეს ასეთი რთული დამოკიდებულება მცინვარის სიმაღლესა და ძვრის დამაბულობას შორის. თუმცა, [3]-ის ავტორების აზრით, ემპირიული კავშირი უბრალოდ ასახავს ყინულის მოძრაობის სურათის ზოგად ცვალებადობას. შესაბამისად, გამოსახულება (2) იძლევა დაახლოებით $\pm 30\%$ ცდომილებას, რომელიც ავტომატურად გააჩნია აგრეთვე მოდელს (2).

მცინვარი თბილისსა საკმაოდ კარგად იყო შესწავლილი საბჭოთა გლაციოლოგების, მათ შორის ქართველების, მიერ გასული საუკუნის 70-80 წლებში. კერძოდ, ქართველებმა განახორციელეს რამდენიმე ექსპედიცია, რომელთა პროცესში მიღებული ნატურალური დაკვირვების მასალა განზოგადდა მონოგრაფიაში [4]. ეს მონოგრაფია დღესაც აქტუალურია, რადგანაც შეიცავს ისეთ რეტრო მონაცემებს, რომელთა ღირებულება მომავალში მხოლოდ მოიმატებს. დღეს ცხადია, რომ სასიცოცხლოდ აუცილებელია ახალი ინფორმაცია თბილისს მცინვარზე ამჟამინდელი გეოლოგიურ-გეოფიზიკური ვითარების შესახებ. ასეთი სურათის შესაქმნელად მარტო სატელიტური მონაცემების ვიზუალური ანალიზი საკმარისი არ არის, მით უმეტეს როცა ეს ინფორმაცია ფრაგმენტულია და არც თუ მაღალი გარჩევადობით ხასიათდება. ამჟამინდელ მდგომარეობაში თბილისს მცინვარის მდგრადობის შეფასების თვალსაზრისით აუცილებელია გვექნდეს ყინულის სისქის ცვლილების მაქსიმალურად წვრილმასშტაბოვანი სურათი. ყინულის სისქე დამოკიდებულია ორ მთავარ პარამეტრზე: მცინვარის ზედაპირის დახრის კუთხეზე და ძვრადობის მოდულზე მცინვარის კალაპოტში (ძვრადობის დამაბულობაზე). ამიტომ მიგვაჩნია, რომ სატელიტური მონაცემების დამუშავებასთან ერთად საჭიროა მიწისპირა გაზომვები, რათა მონაცემები იყოს უფრო სრული და გახორციელდეს მომხდარი და მოსალოდნელი მოვლენების კომპლექსური შესწავლა და ანალიზი. სწორედ ამ მიზნით, ჩვენ ვფიქრობთ, საჭიროა ექსპედიცია თბილისს მცინვარის მიდამოებში.

მიგვაჩნია, რომ მცინვარქვეშა წლის რეზერვუარის პრობლემის მსგავსად, რაციონალური იქნება მცინვარების პრობლემატიკასთან დაკავშირებული სხვა აქტუალური პუბლიკაციების ზოგიერთი შედეგი გათვალისწინებული იყოს თბილისს მცინვარზე ექსპედიციის დაგეგმარების პროცესში. პირველ რიგში, ეს ეხება ნაშრომს [3], რომელშიც წარმოდგენილია ჯანკუათის მცინვარის მრავალ ათწლიანი ექსპედიციის შედეგები. ამ ნაშრომში გამოთქმულია პრეტენზია, რომ მოხდა ცენტრალური კავკასიონის სხვა მცინვარების კვლევის თვალსაზრისით მნიშვნელოვანი შედეგების განზოგადება, ანუ ავტორებმა მიიჩნიეს ჯანკუათი მეთოდური თვალსაზრისით საყრდენ მცინვარად. ცხადია, რომ ასეთი განცხადების სამართლიანობა ვიწრო სპეციალისტების წრემ უნდა შეაფასოს. თუმცა, ნაშრომში [3] მართლაც არის მნიშვნელოვანი ინფორმაცია საშუალო ზომის მცინვარებზე მიმდინარე

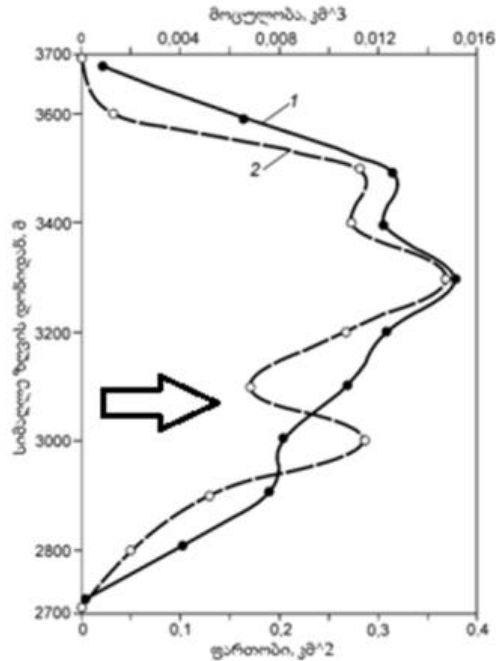
პროცესების მოდელირებასთან დაკავშირებით. ამ თვალსაზრისით განსაკუთრებით ღირებულად უნდა მივიჩნიოთ დასკვნა, რომელიც ეხება ჯანკუათის მცინვარის პარამეტრების ცვლილებას კლიმატური ცვლილებების ფონზე. მიგვაჩნია, რომ ამ დასკვნის ექსტრაპოლაცია სამართლიანი იქნება ჯანკუათის მახლობლად განლაგებული ყველა მცინვარისათვის. მის მიხედვით კლიმატური ცვლილებების გამო, ყინულის მოცულობა ჯანკუათის მცინვარის ზედა ნაწილში შემცირდა, მაგრამ 3000-3100 მეტრ სიმაღლეზე მცინვარის ზედაპირის ფართი გაიზარდა. ეს მოვლენა ახსნილია ყინულის სისქის შემცირების შედეგად მცინვარის სათავეში ყინულცვენის პროცესის გააქტიურებით. ბუნებრივია, რომ ასეთმა ეფექტმა უნდა გამოიწვიოს მცინვარის სათავეს მდგრადობის ზღურბლის დადაბლება. თუ ამ ფაქტს კერძო შემთხვევად არ ჩავთვლით და განვაზოგადებთ, მივალთ დასკვნამდე, რომ დათბობის ეფექტი განსაკუთრებით აქტიურად უნდა მოქმედებდეს მცინვარების სათავეში. იქ რელიეფის დახრა, როგორც წესი, უფრო დიდია ქვედა უბანებთან შედარებით. თბილისას მცინვართან მიმართებაში ეს ნიშნავს, რომ არსებობს რეალური წინაპირობა, რომ მომავალში ბუბასწყლის და ჭანჭახის ხეობაში კვლავ განვითარდეს კატასტროფული მოვლენა, რომელიც შეიძლება გამოწვეული იყოს ამჟამინდელისაგან განსხვავებული ბუნებრივი მექანიზმის მოქმედებით. გარდა ამისა, გასული საუკუნის 60-იანი წლების შემდეგ მცინვარ თბილისას მახასიათებელი პარამეტრების სავარაუდო რაოდენობრივ ცვლილებაზე გარკვეულ წარმოდგენას იძლევა ცხრილი, რომელიც ასახავს ჯანკუათის პარამეტრების რაოდენობრივ ცვლილებას დროის აღნიშნულ პერიოდში.

სხვადასხვა პერიოდში ჯანკუათის მცინვარის გეომეტრიული პარამეტრები

წელი	ყინულის სისქე, მ (საშუალო/მაქსიმალური)	ფართობი კმ ²	ყინულის მოცულობა კმ ³
1968–1974	54/110	–	0,132
1996	42	2,99	0,106
2006	48	2,688	0,12
2012–2013	31/105*	2,448	0,077±0,002
მოდელი GlabTop, 2009	32,8/103*	2,448	0,081±0,02

*ჯანტუგანსკის პლატოს იმ ნაწილის გარეშე, საიდანაც ხდება მცინვარზე ყინულის შემოდინება

ჯანკუათის მცინვარზე ყინულის მოცულობის განაწილება სიმაღლის ზონების მიხედვით ნაჩვენებია ნახ. 1-ზე. ძირითადი ყინულის რესურსები კონცენტრირებულია კვების ზონაში 3200–3500 მ სიმაღლეზე. ენის ქვედა ნაწილში არსებული ყინულის მოცულობა მნიშვნელოვნად ნაკლებია. ორივე მრუდი იცვლება სინქრონულად, გარდა სიმაღლის ინტერვალისა 2900–3100 მ. ენის ზედა ნაწილში, 2900–3000 მ სიმაღლეზე, ყინულის მოცულობა მკვეთრად იზრდება, რადგან სწორედ იქ არის ყველაზე დიდი ყინულის სისქის მქონე მცინვარის ნაწილი. 3000-3100 მ სიმაღლეზე მცინვარის ფართობის ზრდის ფონზე მოცულობის შემცირება (მითითებულია ისრით) აიხსნება ყინულის შემცირებული სისქის მქონე ყინულცვენის არეების ფართო გავრცელებით [3].



ნახ.1. ჯანკუათის მყინვარის 100 მეტრიანი სიმაღლის ყინულის ზონების ფართობი (1) და მათში ყინულის მოცულობა (2) [3]

ძალზედ მნიშვნელოვანი და საინტერესო პრობლემაა ღვარცოფის ჩამოყალიბებისათვის საჭირო წყლის რაოდენობის შეფასება და მისი დაგროვების შესაძლო მექანიზმების განხილვა. ჩვენი შეფასებით 1.5 მილიონი კუბური მეტრი ღვარცოფული მასის ჩამოყალიბებისათვის, სავარაუდოდ რა მოცულობის ღვარცოფული მასაც წარმოიქმნა შოვის კატასტროფის დროს, დაახლოებით 0.5 მილიონი კუბური მეტრი წყალია საჭირო. კატასტროფის დაწყებისას დაახლოებით 10^6 მ³ კლდეზვავის პოტენციური ენერჯის უბეში შეფასებით შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ მას დაცემის და ჩამოსრიალების პროცესში შეუძლია საჭირო რაოდენობის წყლის წარმოქმნა, თუ მყინვარის კლდეზვავთან კონტაქტში მოსული მყინვარის ზედაპირი 0°C დნობის ტემპერატურასთან არის მისული. თუმცა, ამ შემთხვევაშიც, მხოლოდ წყალის რაოდენობა არაა საკმარისი, საჭიროა ღვარცოფის ჩამოყალიბება, რასაც გარკვეული დრო სჭირდება. ეს დრო კლდეზვავის ჩამოსვლასა და ღვარცოფის დამგრას შორის არ ჩანს. ხოლო იმ შემთხვევაში, თუ მყინვარის კლდეზვავთან კონტაქტში მოსული ზედაპირი -5°C ტემპერატურისაა, კლდეზვავის პოტენციური ენერჯია შესაბამისი მოცულობის ყინულის 0°C ტემპერატურამდე მიყვანისთვისაც კი არაა საკმარისი. როგორც ჩანს მორენებთან და მყინვარის სხეულში გარკვეული რაოდენობის წყალი უკვე იყო, ე.ი. გვექონდა წყლით გაჟღენთილი ინერტული მასა. მას კიდევ დაემატა გარკვეული რაოდენობის წყალი, აგრეთვე ინერტული მასაც და მოხდა პროცესის ტრიგერირება. ამის შემდეგ იწყება ღვარცოფული მასის მოძრაობა. ამიტომ, ნაშრომში დასმული ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა ჩამოყალიბებული ღვარცოფის მოძრაობის მათემატიკური მოდელირება, რომელიც საკმაოდ კარგადაა დამუშავებული სხვადასხვა ტიპის ღვარცოფებისათვის.

გლაციოლოგიური ღვარცოფის რეოლოგია. იდეალურ სითხეში სიბლანტის ეფექტი არ ვლინდება, ანუ ასეთი მხები ძაბვები სითხის შიგნით ან მყარ ზედაპირთან კონტაქტის არეში არ ვითარდებიან. მათემატიკურად ეს ნიშნავს, რომ დამაბულობის ტენზორის მდგე-

ნელები $\tau_{ij} = 0$ ($i \neq j$). იდეალური სითხისაგან განსხვავებით, რეალურ სითხეებში მხები ძაბვები არსებობენ, თუმცა მათი ხასიათი დამოკიდებულია რეოლოგიაზე, სპეციფიკურ მახასიათებელზე, რომელიც განსაზღვრავს სითხის დინების ხასიათს. ცნობილია, რომ რეოლოგიური მაჩვენებლის მიხედვით რეალური სითხეები იყოფიან ორ კლასად; ნიუტონურ და არანიუტონურ (ე.წ. ბინგამის) სითხეებად. მაგალითად, წყალი წარმოადგენს ბლანტ სითხეს, რომელიც მოძრაობის დროს ემორჩილება ნიუტონის ბლანტი ხახუნის კანონს. ასეთი გარემოსათვის სამართლიანია განტოლება: $\tau = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)$, სადაც μ – დინამიკური სიბლანტის კოეფიციენტი, $\left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)$ – სიჩქარის წარმოებული სითხის მოძრაობის პერპენდიკულარული მიმართულებით. თუ შემოვიტანთ ვერტიკალური დეფორმაციის ხაზოვან ზომას ξ , ეს პარამეტრი შეიძლება შეიცვალოს დეფორმაციის სიჩქარით: $\beta = \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} \right)$.

არანიუტონური სითხისათვის დამახასიათებელია მის ფენებს შორის საწყისი მხები ძაბვის არსებობა: $\tau_0 \neq 0$. ასეთი სითხეების კლასი საკმაოდ მრავალფეროვანია. მათ შორის გლაციოლოგიურ-ღვარცოფულ ნაკადს რეოლოგიური თვისებებით ყველაზე უფრო უახლოვდება ე.წ. ბლანტი პლასტიკური (ან ფსევდოპლასტიკური) სითხე. მას გააჩნია საწყისი მხები ძაბვა და ახასიათებს ლოკალური (ეფექტური) სიბლანტის შემცირების ტენდენცია დეფორმაციის სიჩქარის ზრდის შემთხვევაში. ასეთი სითხისათვის დამახასიათებელია $\tau = f(\beta)$ ფუნქციონალური დამოკიდებულების ხასიათის ცვლილება β პარამეტრის ზრდის დროს, საწყის მონაკვეთზე არაწრფივიდან კარგად გამოხატული წრფივისაკენ, რითაც ის ემსგავსება ნიუტონურ სითხეს. ასეთ შემთხვევაში სამართლიანია შემდეგი განტოლება

$$\tau = \tau_0 + \eta \beta, \tag{4}$$

სადაც η წარმოადგენს ე.წ. პლასტიკურ სიბლანტეს, რომელიც ზღვარში, როცა დეფორმაციის სიჩქარე იზრდება, გადადის დინამიკურ სიბლანტეში.

შოვის ღვარცოფული ნაკადის რეოლოგიური თავისებურებები. მცინვარების დნობით გამოწვეული გლაციოლოგიურ-მეწყერული ღვარცოფი განიხილება, როგორც გაწყლოვანებული ბლანტი მყარი მასა, რომლის მოძრაობა მთიან ხეობაში და გაშლილ ადგილზე ემორჩილება ჰიდროდინამიკის ფუნდამენტალურ კანონებს. საზოგადოდ, პრაქტიკულად ნებისმიერი მეწყერული ნაკადი, გარკვეულ პირობებში მოძრაობის პროცესში, იცვლის რეოლოგიას და იძენს ე.წ. ბინგამის (ფსევდოპლასტიკური ან ბლანტპლასტიკური) სითხის თვისებებს. ამიტომ, მცინვარული წარმოშობის მქონე ღვარცოფის სრულფასოვანი დინამიკური სურათის ჩამოყალიბებისათვის აუცილებელია მისი რეოლოგიური მახასიათებლების ცვლილების ეფექტის გათვალისწინება. კერძოდ, ბლანტპლასტიკურ სითხესთან ანალოგიიდან გამომდინარე, გლაციოლოგიურ-ღვარცოფულ მასას გააჩნია უნარი მოძრაობის პროცესში მოიქცეს ისე, როგორც ჩვეულებრივი სითხე, ან გამოავლინოს ბლანტპლასტიკური სითხის თვისებები. მაგალითად, მას გააჩნია უნარი ზედაპირზე დამუხრუჭების შემთხვევაში (უძრაობის მდგომარეობა) შეინარჩუნოს სივრცული სტრუქტურა იმ მომენტამდე, სანამ გარეგანი ფაქტორის გამო (მაგალითად, ზედაპირის ჰორიზონტისადმი დახრილობის კუთხის გაზრდა), მყარი მეწყერული მასის ამძრავი ძალა საკმარისი გახდება ზედაპირული ხახუნის დამაბულობის (ე.წ. ძვრის დამაბულობა) დასაძლევად.

საზოგადოდ, მთის მდინარეების კალაპოტებში და ველების ფერდებზე მეწყერული მასის გადატანის პროცესის თეორიული მოდელირება მოიცავს ორ ასპექტს: მეწყერის გამომ-

წვევი მიზეზების მორფოლოგიურ ანალიზს და მეწყერის მოძრაობის დინამიკური მახასიათებლების განსაზღვრას. ასეთი სქემა უნივერსალურია და საყოველთაოდ გამოიყენება მრავალრიცხოვან პუბლიკაციებში. კერძოდ, ცნობილია ფიზიკურ-გეოგრაფიულ-გეოლოგიური მახასიათებლების საფუძველზე აგებული სხვადასხვა რეგიონში, განსხვავებულ დროსა და ადგილზე მომხდარი მყინვარული ღვარცოფების ფიზიკური და მათემატიკური მოდელები, რომლებსაც ჰიდროდინამიკური მსგავსების ბევრი ელემენტი აერთიანებს. თუმცა, სიმულაციური მოდელირება, კვლევის თანამედროვე ეტაპზე, იძლევა მხოლოდ მეწყერული პროცესების ცალკეულ ფაზებს შორის ემპირიული კავშირების გამოვლენის საშუალებას, რის გამო მისი შესაძლებლობები კატასტროფული მოვლენების პროგნოზის პრობლემის თვალსაზრისით შეზღუდულია. ეს არ ნიშნავს რომ, მაგალითად, კოლკას მყინვარიდან წამოსული გრანდიოზული გლაციოლოგიური ღვარცოფის მოდელირების შედეგები სასარგებლო არ იქნება შოვის კატასტროფის ჰიდროდინამიკური პარამეტრების განსაზღვრისათვის. რიცხვითი მოდელი [6] გარკვეულწილად უნივერსალური ხასიათისაა, რადგანაც თემატურად ეხება ბლანტი სითხის ნაკადების მთის მდინარეთა კალაპოტებში მოძრაობის ზოგად პრობლემას. ამ მოდელის საშუალებით კიდევ უფრო დაზუსტდა კარმადონისა და გერალდონის ხეობებში ღვარცოფის დინების პარამეტრები და ერთიანი ჰიდროდინამიკური სურათი. ამ შედეგების ზოგიერთი ნაწილის ექსტრაპოლაცია შოვის ხეობაზე ფიზიკურად დასაშვებია განსაკუთრებით აქტიურად მოქმედი ნეგატიური ფაქტორის გამოვლენის მიზნით, რაც სასარგებლო იქნება სტიქიის შედეგების სრულფასოვანი ანალიზის შემთხვევაში. მაგალითად, როგორც სჩანს, შოვის ხეობაში, გერალდონის ხეობის მსგავსად, ღვარცოფის დინამიკას ძირითადად განსაზღვრავდა მდინარის კალაპოტის სტოქასტური ცვლილება. რიცხვითი მოდელირების სქემაში გათვალისწინებული იყო სწორედ ასეთი ეფექტის წვლილი, შემდეგი ფაქტორების წვლილთან ერთად:

- წყლის ნაკადებისა და მდინარის კალაპოტში ეროზიული შეჭრების აქტიურობა, დაკავშირებული ადრეულ პერიოდებში და ახლო წარსულში მომხდარ წყალმოვარდნებთან;
- მდინარის მყარი ჩამონატანის აქტიურობა, რაც დამოკიდებულია გეოლოგიურ აგებულებაზე, ქანების გეოფიზიკურ თვისებებზე და წყლის ნაკადის აქტიურობაზე;
- ღვარცოფული ნაკადის ტურბულენტური მახასიათებლების ცვალებადობა ხეობის ფერდების ზედაპირული და სიღრმული ეროზიის გამო;
- მდინარის კალაპოტის ხაოიანობის ეფექტი, მისი დახრა ჰორიზონტის მიმართ და დინების ჰიდრაულიკური რადიუსი;
- კლიმატური ფაქტორები.

ზოგადად, ყველა ეს ფაქტორი გარკვეულ გავლენას უნდა ახდენდეს ღვარცოფის დინამიკურ მახასიათებლებზე. ამიტომ, ცალკეული მათგანის ეფექტურობა და მათი მოქმედების ჯამური შედეგი შოვის კატასტროფის პროცესში აუცილებლად უნდა გახდეს მაქსიმალურად ზუსტი შეფასების საგანი. თუ რამდენად თანაბარძალოვანი იყო ცალკეული უარყოფითი ეფექტის მოქმედება, შეიძლება დადგინდეს მხოლოდ შოვის ხეობის პოსტ-ფაქტუმ დეტალური შესწავლის შემდეგ, შოვის ხეობის რეტრომონაცემებთან შედარებით ანალიზის გზით. სავარაუდოდ, ამას უნდა დაემატოს ახალი მონაცემები, მიღებული როგორც კოსმოსიდან, ასევე მოპოვებული მყინვარ თბილისაზე ექსპედიციის შედეგად.

კოლკას მყინვარზე მომხდარი გიგანტური კატასტროფის ზოგიერთი შედეგი და რიცხვითი მოდელირების ფიზიკური საფუძველი. 2002 წლის შემდეგ ჩატარებული ექსპედიცი-

ების მასალების გეოლოგიურ-გეოფიზიკური ანალიზის შემდეგ დადგინდა, გლაციოლო-გიურ-მეწყერული ნაკადს კოლკას მცინვარიდან კარმადონის ხეობამდე, ე.ი. გავრცელების პირველ მონაკვეთზე ახასიათებდა შემდეგი პარამეტრები: მანძილი 14 კმ, რომელიც ცინულოვანმა მასამ გაიარა 240 წამში; ნაკადის სიგანე 400-500 მ; ტალღების სიმაღლე 100-150; $\alpha \approx 14.5^\circ$; მცინვარს მოწყვეტილი ცინულის მოცულობამ შეადგინა $Q \approx 1.15 \cdot 10^8 \text{ მ}^3$ [7,8]. ამ მონაცემებზე დაყრდნობით, აგრეთვე ცინულოვანი ღვარცოფის მახასიათებელი გეოფიზიკური პარამეტრების გამოყენებით, კარმადონისა და მდინარე გერალდონის ხეობებში ცინულოვანი ღვარცოფის მოძრაობის რიცხვითი მოდელირებისათვის შერჩეული იყო საწყისი პარამეტრები. კერძოდ, განისაზღვრა მეწყერული ნაკადის სიჩქარის ინტერვალი: $/37-80/ \text{ მწმ}^{-1}$ და საშუალო სიჩქარე: $V = 60 \text{ მწმ}^{-1}$, აგრეთვე მახასიათებელი დრო ცინულოვანი ღვარცოფის კარმადონის ხეობაში შემოსვლამდე $t \approx 260 \text{ წმ}$. ამ ხეობაში და მის გაგრძელებაზე, მდინარე გიზელდონის ხეობაში, ჯამში ჩამოვიდა $\approx 4 \cdot 10^6 \text{ მ}^3$ მოცულობის მასა, ხოლო ცინულოვან-ღვარცოფული ტალღის მაქსიმალურმა სიმაღლემ შეადგინა $\approx 30 \text{ მ}$. ორივე ხეობა ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მაჩვენებლით, ჰორიზონტისადმი დახრის კუთხის სიდიდით: $\alpha \approx 5^\circ$, აგრეთვე ოროგრაფიული მახასიათებლებით, შოვის ხეობის მსგავსია, რის გამო დასაშვებია, რომ აქ განვითარებული კატასტროფული მოვლენების შედეგებს შორის არსებობს გარკვეული თვისობრივ-რაოდენობრივი ანალოგია.

მეწყერულ მასას მისი წარმოქმნის მომენტში გააჩნია ენერგიის უზარმაზარი მარაგი, რომელიც ნაწილობრივ იხარჯება ხეობაში ან ზეგანზე მოძრაობის დროს. თუ ზედაპირის დაქანება საკმაოდ დიდია, ღვარცოფის სიჩქარე მატულობს და მოძრავი უწყვეტი ტანის კინეტიკური ენერგია იზრდება. ამ დროს, განვითარებული აქტიური ტურბულენტობის გამო, მცინვარული წყლის, ცინულის, ქვის ლოდებისა და მყარი ქანების უფრო წვრილი ფრაქციების ნაზავი შეიძლება განხილოთ, როგორც პრაქტიკულად ერთგვაროვანი მასა. მდინარე გერალდონის ხეობა, რომელიც კარმადონის ხეობიდან გამოსვლის შემდეგ პრაქტიკულად მთლიანად დაფარა ცინულოვან-კლდოვანმა მასამ, ტოპოლოგიურად შოვის ხეობის მსგავსია. აქაც კანიონის სიგანე რამდენიმე ათეულჯერ ნაკლებია მის სიგრძეზე. ეს პირობა ღვარცოფული მასის მოძრაობის მათემატიკური მოდელირების დროს დასაშვებად ხდის ერთგანზომილებიანი ჰიდროდინამიკური ნაკადის მიახლოებას, რომელსაც შეესაბამება ნავიე-სტოქსის განტოლებათა შემდეგი სისტემა მოძრავი უწყვეტი ტანის იმპულსისა და სიმკვრივისათვის [9]

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial(\rho u^2)}{\partial x} + F, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} D \frac{\partial \rho}{\partial x} - \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + S + G \quad (6)$$

სადაც $-F = w g \rho \sin \alpha$, x , t – სივრცული და დროითი კოორდინატებია, $0 \leq x \leq L$, $t \geq 0$; L – მეწყერული ღვარცოფის მახასიათებელი სიგრძე, $u = u(x, t)$ – სიჩქარე; $\rho = \rho(x, t)$ – მყარი ნაკადის პირობითი სიმკვრივე, ანუ, ცინულოვანი ღვარცოფის შემთხვევაში, ერთიანი ხვედრითი მასა, წყლის, ცინულისა და მთის ქანების გამოყოფის გარეშე (მეორე განმარტებით: ცინულოვან-წყლიან-ქვიან სვეტის მასის გრადიენტი ფართის ერთეულზე-ღვარცოფის წყარო); $\mu = \mu(x, t)$ – ნაკადის დინამიკური სიბლანტის კოეფიციენტი; F – მასური ძალა; w – მასური ძალის მოქმედების მაკორექტირებელი კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე ზოგადად განისაზღვრება ემპირიული კავშირების საფუძველზე; g – სიმძიმის ძალის აჩქარება; $\alpha = \alpha(x, t)$ –

ნაკადის მოძრაობის ზედაპირის ჰორიზონტთან დახრის კუთხე; $S = S(x, t)$, $G = G(x, t)$ – დამატებითი წყაროები და განადენები ღვარცოფული ნაკადის დინების ტრასაზე; D – პირობითი დიფუზიის ცვლადი კოეფიციენტი. პარამეტრები u და p ერთდროულად მონაწილეობენ განტოლებებში (5) და (6), ანუ ისინი ურთიერთდამოკიდებულები არიან, რაც გათვალისწინებული იყო რიცხვითი მოდელირების პროცესში. ამიტომ გამოყენებული იყო უკვე აპრობირებული მათემატიკური მიდგომა, სამართლიანი მთიან ფერდებზე ჩამონადენი ნაკადების მოძრაობასთან დაკავშირებული ეროზიული პროცესების ანალიზის დროს [10]. როგორც ზოგადად არის მიღებული, მოცემულ შემთხვევაშიც რიცხვითი მოდელირების ამოცანა მდგომარეობდა სიჩქარისა და სიმკვრივის ისეთი ველების განსაზღვრაში, რომელებიც აკმაყოფილებდნენ პირობას

$$|A_p - A_j| / A_p \leq \varepsilon \quad (7)$$

სადაც A_p , A_j – საძიებელი ცვლადი პარამეტრების გამოთვლილი და დამზერილი მნიშვნელობებია, ε – წინასწარ მოცემული ცთომილება. შესაბამისი სასაზღვრო პირობების დაცვით (5) და (6) განტოლებების რიცხვითი ამონახსნების მოსაძებნად გამოყენებული იყო სასრულო სხვაობების მეთოდი, უპირობოდ მდგრადი არაცხადი სქემით, რომლის მგრძობელობა შემავალი პარამეტრების მიმართ შემოწმდა სტანდარტული მეთოდით [6]. საზოგადოდ, ჰიდროდინამიკური მოძრაობის რიცხვითი მოდელირების სქემებში, მათი შესაძლებლობების წინასწარი შეფასებიდან გამომდინარე, ჩვეულებრივ შედის პარამეტრების შეზღუდული რაოდენობა. ამ თვალსაზრისით აშკარაა, რომ დინამიკური სიბლანტის კოეფიციენტი წარმოადგენს ქვაკუთხედურ პარამეტრს, რომელთანაც დაკავშირებულია ღვარცოფული მასის ძვრადობა, რაც განსაზღვრავს ნაკადის დამამუხრუჭებელი ძალის სიდიდეს. ასევე, ამ ძალის ეფექტურობა დამოკიდებულია კალაპოტისა და მასში მოძრავი ნაკადის ჰიდროდინამიკურ მახასიათებლებზე, კერძოდ მყარი მასის გაწყლოვანების დონეზე. ბუნებრივია, რომ ეს ფაქტორები, რომლებიც მოქმედებდნენ კარმადონისა და გერალდონის ხეობებში, ატიურად მოქმედებდნენ აგრეთვე შოვის ხეობაშიც. ამიტომ, გერალდონის ხეობის მსგავსად, შოვის ხეობაშიც სამართლიანია ერთგანზომილებიანი მეწყერული ნაკადის მიახლოება. [6]-ის მთავარი შედეგი არის მსხვილმასშტაბოვანი სურათი, რომელიც, ჰიდროდინამიკური მსგავსების ფაქტორის გათვალისწინებით, საკმაოდ კარგ წარმოდგენას იძლევა შოვის კატასტროფის თანმდევ მოვლენებზე. მაგალითად, შოვშიც ადგილი ჰქონდა ღვარცოფულ ტალღებს, რომელთა სიმაღლე ერთგანზომილებიანი მოძრაობის მიახლოებაში შეიძლება უკავშირდებოდეს მნიშვნელოვან მახასიათებელ ზომას, ხეობის სიგანეს. ამისათვის წარმოვიდგინოთ ჰიდროტექნიკური არხი, რომლის კედლები ამუხრუჭებენ ცვლადი რეოლოგიის მქონე ნაკადს. ე.ი. არხის გასწვრივ იცვლება ნაკადის კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტი, პარამეტრი, რომელიც განსაზღვრავს ჰიდროდინამიკური სასაზღვრო ფენის სისქეს არხის კედლებზე. ასეთი სტრუქტურა გავლენას სითხის არხში სითხის ნაკადის სიჩქარის პროფილზე, რომლის ფორმა დამოკიდებულია არხის სიგანეზე. თუ არხი საკმაოდ ვიწროა, ხოლო წნევის გრადიენტი საკმარისი, შესაძლებელია მოხდეს ნაკადის ლოკალური ტურბულიზაცია ისეთი მასშტაბით, რომ მოხდეს საკმაოდ მაღალი ტალღების გენერაცია. თუ ასეთ თვისობრივ სქემას მივიღებთ, ცხადი იქნება, რომ არხში გენერირებული სპონტანური ტალღების სიმაღლე დამოკიდებულია არხის სიგანეზე. ამრიგად, თუ ხეობასა და არხს შორის ფიზიკურ ანალოგიას დავუშვებთ, ჰიდროდინამიკური მსგავსების პრინციპიდან გამომდინარე, სხვადასხვა ხეობებში შესაძლო ტალღების სიმაღლეთა ფარ-

დობა ამ ხეობების განივი ზომების ფარდობის თანაზომადია. შოვის ხეობის მახასიათებელი ხაზოვანი ზომა ($h \approx 50$ მ) მინიმუმ ერთი რიგით ნაკლებია კარმადონის ხეობის მახასიათებელ განივი ზომაზე ($h \approx 500$ მ). შესაბამისად, თუ ტალღის სიმაღლე კარმადონის ხეობაში $h \approx 100$ მეტრს აღწევდა, სავარაუდოა, რომ შოვის ხეობის ვიწრო მონაკვეთში, ანუ კემპინგის ზონამდე, ღვარცოფული ტალღის მახასიათებელი სიმაღლე შესაძლოა ყოფილიყო $h \approx 10$ მეტრი.

შოვის გლაციოლოგიური ღვარცოფის დინამიკა. განტოლება (6) მოცემულია ისეთი ფორმით, რომელიც ითვალისწინებს ღვარცოფის თხევადი კომპონენტის დიფუზიას და მისი კალაპოტის გასწვრივ შენაკადებისა და ჩადინებების არსებობას. მარტივი წარმოდგენით, თხევადი კომპონენტი წყალია, თუმცა უფრო კორექტულია მისი გაიგივება ცვლადი სიმკვრივის მქონე რთულ ხსნართან, რომელშიც შეწონადებულია მცირე ზომის მყარი ნაწილაკები. ასეთი სუსპენზიის ძვრადობა წყალთან შედარებით უფრო დაბალი იქნება. იმ შემთხვევაში, როცა ღვარცოფული მასის ინერცია შემცირდება, მასში გააქტიურდება სუსპენზიის დიფუზიური პროცესი, რომელიც გამოიწვევს მყარი ნატანში გაწყლოვანების დონის ცვლილებას. კერძოდ, ღვარცოფული მასის ხეობის ზედაპირთან კონტაქტის არეში შეიძლება ჩამოყალიბდეს ჰიდროდინამიკური სასაზღვრო ფენა, რომელიც შეცვლის მყარი მასის ძვრადობის პირობას. ეს ნიშნავს, რომ სათანადო დაქანების შემთხვევაში პრაქტიკულად გაჩერებული ღვარცოფული მასა შეიძლება კვლავ ამოდრავდეს, რასაც ითვალისწინებს რიცხვითი მოდელირების სქემა პირობითი დიფუზიის ცვლადი კოეფიციენტით, გამოყენებული ნაშრომში [6]. სხვა შემთხვევაში, სავარაუდოდ, ცვლადი დიფუზიის კოეფიციენტის გათვალისწინება რიცხვითი მოდელირების სქემაში მნიშვნელოვანი რაოდენობრივი ეფექტის მომცემი არ უნდა იყოს. თუმცა, საზოგადოდ, რიცხვითი სქემების უმრავლესობა საკმაოდ მგძნობიარეა პირობითი დიფუზიის კოეფიციენტის მსგავსი პარამეტრების ჩართვაზე, რაც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მათემატიკური მოდელირების შედეგების ცდომილებაზე [11]. უნდა აღინიშნოს, რომ ღვარცოფული ნაკადის წყლით გაჯერებულობის არაერთგვაროვნება მარტივად შეიძლება ახსნილი იყოს მოძრაობის პროცესში მყარი მეწყერული მასის ფოროვნების მექანიკური ცვლილებითაც. არსებული მონაცემებით იქმნება შთაბეჭდილება, რომ ასეთ ეფექტს შესაძლებელია ადგილი ჰქონდა შოვის ხეობის ქვედა მონაკვეთში, ე.წ. კოტეჯების ზონაში. აქ მეწყერული მასის მოძრაობის ბოლო ეტაპზე, კინეტიკური ენერჯის დაკარგვისა და გაწყლოვანების დონის შემცირების გამო, დინება ლამინარული ხასიათის იყო. ამიტომ სავარაუდოა რომ, ლამინარულმა მასამ, რომელიც მეტ-ნაკლებად თანაბრად განაწილდა, საგრძნობლად შეცვალა ზედაპირის დახრის კუთხე. კერძოდ, შესაძლებელია, რომ მოხდა α -ს შემცირება საკმაოდ დიდ ფართზე, რაც მომავალში, მოსალოდნელი წყალდიდობების შემთხვევაში გაზრდის ამ არის მასშტაბური დატბორვის რისკს.

ანალოგია რიცხვითი მოდელირების ზოგიერთ შედეგთან. კოლკას მყინვარზე მომხდარი კატასტროფის არე იყოფა ორ ზონად, ყინულოვანი ღვარცოფის მნიშვნელოვნად განსხვავებული გეოფიზიკური და ჰიდროდინამიკური პარამეტრებით. ზედა ზონა, მყინვარიდან კარმადონის ხეობამდე, სიგრძით $L \approx 14$ კმ, ყინულოვანმა ზვავმა გაიარა 260 წამში. ქვედა ზონა, ანუ მდინარე გერალდონის ხეობა კარმადონის ხეობიდან სოფელ გიზელამდე სიგრძით $L \approx 17$ კმ ყინულოვანმა ღვარცოფმა განვლო 690 წამში. ამ ზონაში ყინულოვანი ღვარცოფის რიცხვითი მოდელირებისათვის გამოყენებული იყო საწყისი პარამეტრების

შემდეგი ნაკრები: $\mu = 8 \cdot 10^2$ პა.წმ, $D = 10^{-5}$ მ² წმ⁻¹, $G = 10^2$ კგმ⁻³ წმ⁻¹, $\alpha = 5^\circ$, $w = 0.011$, საწყისი სიჩქარე $u(0, t) = 20$ მწმ⁻¹. საწყისი 166 წამის განმავლობაში პირობითი სიმკვრივე $\rho(0, t) = 2.05 \cdot 10^5$ კგმ⁻³, ჩვეულებრივი სიმკვრივე $\rho = 1.510^3$ კგმ⁻³ და ტალღა საწყისი სიმაღლით $h \approx 30$ მ. პროცესის ბოლო ეტაპზე ტალღის სიმაღლე შემცირდა $h \approx 3-1/$ მეტრამდე, ანუ მიიღო სუსტი მეწყრული ტალღის ფორმა. ამ შედეგიდან გამომდინარე, საკმაოდ ცხადია შოვისა და გერალდონის ღვარცოფების ინტენსივობის მსგავსება ამ ხეობების ბოლო მონაკვეთზე. ასევე, რიცხვითი მოდელის თანახმად, გლაციოლოგიური ღვარცოფის ქვედა ზონაში ჩამოვიდა $Q \approx 4.10^6$ მ³ მოცულობის ქვა-ტალახის გაწყლოვანებული მასა. რიცხვითი მოდელით მიღებული ეს შედეგი კარგ თანხმობაშია სიდიდესთან $3-5/$ მ³, რომელიც დააფიქსირეს კატასტროფის თანადროულად [7]. უნდა აღინიშნოს, რომ ეს სიდიდე შოვის ხეობაში ჩამოსული ღვარცოფული მასის მოცულობის: $Q \approx 1.5 \cdot 10^6$ მ³, თანაზომადია. ეს ფაქტი დამატებითი არგუმენტია ორ თვისობრივად მსგავს კატასტროფულ მოვლენას შორის ფიზიკური ანალოგიის დაშვების სამართლიანობის სასარგებლოდ.

დასკვნა

მოცემული ნაშრომი გარკვეულწილად მოწმობს, რომ, ინსტრუმენტული და ნატურალური დაკვირვების მასალის ნაკლებობის მიუხედავად, არსებობს შოვის ტრაგედიის გამომწვევი მიზეზის, გლაციოლოგიური ღვარცოფის, ჰიდროდინამიკური სურათის წარმოდგენისა და მისი მახასიათებელი პარამეტრების ირიბად შეფასების შესაძლებლობა არსებული პუბლიკაციების შედეგების ანალიზის საშუალებით. ამიტომ, მოცემულ ნაშრომში დასმული ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა ღვარცოფის მოძრაობის მათემატიკური მოდელირება შოვის ხეობის შემთხვევაში, რომელსაც შეიძლება ჰქონდეს გარკვეული ინდივიდუალური მახასიათებლები.

მოსალოდნელია, რომ კავკასიის რეგიონში მდებარე მყინვარებზე კლიმატური ცვლილებების ეფექტის გავლენა თვისობრივად ერთნაირად უნდა აისახოს, რაც ნიშნავს, რომ სხვადასხვა გლაციოლოგიური კატასტროფების მსხვილმასშტაბოვანი სურათები თვისობრივად ჰიდროდინამიკური მსგავსების პრინციპმა უნდა გააერთიანოს. თუმცა არსებობს მოსაზრებები, რომ კოლკაზე და დევდორაკზე, 21-ე საუკუნეში მომხდარი კატასტროფების გამომწვევ მიზეზებს შორის შეიძლება ფიგურირებდეს ვულკანური აქტივობის უახლესი გამოვლინებები მყინვარწვერის სიღრმეში. მსგავსი დასკვნების გაკეთება არადაამაჯრებელია სათანადო მეცნიერული კვლევის გარეშე. ინფრაბგერა არის სასარგებლო ინსტრუმენტი ვულკანური პროცესების გამოვლენის, ადგილმდებარეობისა და დახასიათებისთვის, ასევე ვულკანური აქტივობის მონიტორინგისთვის როგორც ლოკალურ, ისე გლობალურ დისტანციებზე [13].

კლდეზავის მყინვარზე სავარაუდო დაცემით და მისი ნამსხვრევების მყინვარზე ჩამოსრიალებისას, ხახუნით მყინვარის დნობის შედეგად, 500 000 მ³ მოცულობის წყლის ძალზედ მცირე დროში წარმოქმნა ნაკლებად სავარაუდოა. დიდი ალბათობით, კატასტროფული პროცესის დაწყებამდე, წყლის დიდი ნაწილი უკვე აკუმულირებული იყო.

ნაშრომში წარმოდგენილია ჩვენთვის მაქსიმალურად სარწმუნო ინფორმაცია ამჟამად არსებული მონაცემების გათვალისწინებით. ვფიქრობთ, რომ აუცილებელია ექსპედიცია (ექსპედიციები) მყინვარ თბილისაზე და სხვა მყინვარებზე და ასევე აუცილებელია კავკასიის ქედის მუდმივი მონიტორინგი – როგორც სახმელეთო, ისე აეროკოსმოსური, რათა

უკეთესად შევისწავლოთ სხვადასხვა ბუნებრივი კატასტროფების გამომწვევი მიზეზები და მოვახერხოთ მათი შედეგების შერბილება.

ლიტერატურა – References – Литература

- [1] Епифанов В.П., Глазовский А.Ф., Осокин Н.И. Физическое моделирование контакта ледника с ложем. Лёд и Снег, № 1 (121), 2013, С. 43–52.
- [2] Roux P.-F., Marsan D., Metaxian J.-P., O'Brien G., Moreau L. Microseismic activity within a serac zone in an alpine glacier (Glacier d'Argentiere, Mont Blanc, France). Journ. of Glaciology. V. 54, № 184, 2008, pp. 157–168.
- [3] Лаврентьев И.И., Кутузов С.С., Петраков Д.А., Попов Г.А. Толщина, подледный рельеф и объем льда ледника Джанкуат. Лед и снег, № 4, 2014, с. 26–34.
- [4] Гигинеишвили Г.Н. Ледник Тбилиса. Монография, издательство «Мецნიერება», 1982, 116 с.
- [5] Hibert C., Mangeney A., Grandjean G., Baillard C., Rivet D., Shapiro N. M., Satriano C., Maggi A., Boissier P., Ferrazzini V., Crawford W. Automated identification, location, and volume estimation of rockfalls at Piton de la Fournaise volcano. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 2013, pp. 1082-1105.
- [6] Буйских А.А. Россипеобразующие потоки и сели как вязкие потоки в речных долинах. Геология и геофизика, т.56, №12, 2015, с.2212-2221.
- [7] Поповин В.В., Вробышев В.Н., Алейников А.А., Аристов К.А., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. Изменения в зоне Геналдонской гляциальной катастрофы в период 2002-2010 гг. Криосфера земли, т.17, №1, 2013, с. 35-46.
- [8] Поповин В.В., Петраков Д.А., Тутубалина О.В. Гляциальная катастрофа 2002 года в Северной Осетии. Криосфера Земли, т.7, №1, 2003, с.3-17.
- [9] Лыков А.В. Тепломассобмен. Справочник. М., Изд-во Энергия, 1978, 480 с.
- [10] Ларионов Г.А., Гендугов В.М., Добровольская Н.Г., Кирюхина З.П., Литвин Л.Ф. Механизмы боковой эрозии в склоновых ручьях. Почвоведение, №3, 2008, с.330-337.
- [11] Гебхарт Б., Джалурия Й., Махаджан Р., Саммакия Б. Свободно-конвективные течения, тепло и массообмен. Т.1, М., Мир, 1991, 678 с.
- [12] Асоян Д.С., Рототаева О.В. Девдоракский ледник, Казбек: к истории исследований природных катастроф в XIX и начале XXI в. Лёд и Снег, Т. 56, № 2, 2016, doi:10.15356/2076-6734-2016-2-253-264.
- [13] Watson L.M., Iezzi A.M. Volcano infrasound: progress and future directions. Bulletin of Volcanology, 202, 84: 44, <https://doi.org/10.1007/s00445-022-01544-w>

შოვის (საქართველო) კატასტროფის შესაძლო გამომწვევი მიზეზები

კერესელიძე ზ., ვარამაშვილი ნ.

რეზიუმე

ნაშრომი დაკავშირებულია 2023 წლის 3 აგვისტოს შოვის კატასტროფულ ღვარცოფთან. გლაციალური ღვარცოფის ჩამოყალიბება მოხდა მყინვარ თბილისაზე. მყინვარზე განვითარებული მოვლენების რიგითობის დადგენა განსაკუთრებული მნიშვნელობის ამოცანას წარმოადგენს. საჭიროა მყინვართან არსებული წყლის რეზერვუარის მოცულობის შეფასება და ასევე ღვარცოფის გენეზისში მონაწილე წყლის წარმოშობის საკითხის შესწავლა. მყინვარის დინამიკის მოდელირების ამოცანის ერთ-ერთი საკვანძო ელემენტია ყინულის სისქის განსაზღვრა. განხილულია ღვარცოფული ნაკადის მოძრაობის მათემატი-

კური მოდელირების საკითხები. პრაქტიკულად ნებისმიერი მეწყერული ნაკადი, გარკვეულ პირობებში მოძრაობის პროცესში, იცვლის რეოლოგიას და იძენს ე.წ. ბინგამის (ფსევდოპლასტიკური ან ბლანტპლასტიკური) სითხის თვისებებს. კერძოდ, გლაციოლოგიურ-ღვარცოფულ მასას გააჩნია უნარი მოძრაობის პროცესში მოიქცეს ისე, როგორც ჩვეულებრივი სითხე, ან გამოავლინოს ბლანტპლასტიკური სითხის თვისებები. შეფასებულია შოვის ღვარცოფთან დაკავშირებული, საკმაოდ მწირი, სამეცნიერო მასალა. შოვის კატასტროფა შედარებულია კავკასიონის ქედზე მომხდარ სხვა მსგავს კატასტროფებთან.

საკვანძო სიტყვები: მყინვარები, შოვი, მეწყერი, გლაციალური ღვარცოფი, რეოლოგია.

POSSIBLE CAUSES OF SHOVI (GEORGIA) CATASTROPHE

Kereselidze Z., Varamashvili N.

Abstract

The paper is related to the August 3, 2023 Shovi (Georgia) Catastrophic debris-flow. Glacial landslides were formed on glacier Tbilisa. Determining the sequence of events on the glacier is a task of special importance. It is necessary to estimate the volume of the water reservoir by the glacier and also to study the issue of the origin of the water involved in the genesis of the Shovi debris-flow. One of the key elements in the task of modelling glacier dynamics is the determination of ice thickness. Issues of mathematical modeling of debris flow movement are discussed. Virtually any landslide flow, under certain conditions, changes its rheology and acquires the so-called Bingham (pseudoplastic or viscoplastic) fluid properties. In particular, the glaciological – debris-flow mass has the ability to behave like a normal fluid in the process of movement, or to exhibit the properties of a viscoplastic fluid. The rather scarce scientific material related to the Shovi debris-flow has been evaluated. The Shovi disaster has been compared to other similar disasters on the Caucasus Range.

Key words: glaciers, Shovi, landslide, glacial debris-flow, rheology.

ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ КАТАСТРОФЫ В ШОВИ (ГРУЗИЯ)

Кереселидзе З., Варамашвили Н.

Реферат

Статья посвящена катастрофическому селю в Шови (Грузия) 3 августа 2023 года. Ледниковый оползень образовался на леднике Тбилиса. Определение последовательности событий на леднике представляет собой задачу особой важности. Необходимо оценить объем воды у ледника, а также изучить вопрос происхождения воды, участвующей в генезисе сели Шови. Одним из ключевых элементов задачи моделирования динамики ледников является определение толщины льда. Обсуждаются вопросы математического моделирования движения селей. Практически любой оползневой поток при определенных условиях меняет свою реологию и приобретает свойства так называемой бингамовской (псевдопластичной или вязкопластической) жидкости. В частности, гляциолого-селевая масса обладает способностью вести себя в процессе движения как обычная жидкость или проявлять свойства вязкопластической жидкости. Был оценен достаточно скудный научный материал, связанный с селем в Шови. Катастрофа в Шови сравнивается с другими подобными катастрофами на Кавказском хребте.

Ключевые слова: ледники, Шови, оползни, ледниковые сели, реология.

მთის მყინვარები და დისტანციური ზონდირება

ჩიხლაძე ვ., ვარამაშვილი ნ.

*ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
მიხეილ ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი
vicachikh@gmail.com*

მთის მყინვარები – რა არის ეს, სილამაზის გარდა რა სარგებელს ან საშიშროებას წარმოადგენენ ადამიანისთვის. პირველ რიგში ეს არის მტკნარი წყალის უდიდესი მარაგი და ბევრ ქვეყანაში ადამიანის ცხოვრება მნიშვნელოვნად არის მათზე დამოკიდებული. მეორეც, რაც არა ნაკლებად საფიქრალია – მათი დნობის, ან უფრო ზუსტად, მათი დაჩქარებული დნობის პროცესი, რამაც საბოლოო ჯამში შესაძლოა გამოიწვიოს ოკეანის დონის მომატება, რაც მის ნაპირებთან მცხოვრები მილიონობით ადამიანს დიდ პრობლემებს შეუქმნის. გლობალური დათბობის ფონზე მიმდინარე პროცესები მყინვარებსაც შეეხება. ისეთ ქვეყანაში როგორც საქართველოა, სადაც მთის მყინვარები შედარებით დაბალ სიმაღლეზეა და ასე თუ ისე ადვილად მისაღწევია და მათი კონტროლი და შესწავლა შედარებით მარტივია, ყურადღება მაინც დისტანციური ზონდირებისკენ იხრება, რა გასაკვირვია, რომ ისეთ ქვეყნებში, როგორებიცაა ჩინეთი, ინდოეთი, პაკისტანი, ნეპალი, ავღანეთი, ტაჯიკეთი და ა.შ. პრიორიტეტი უფრო ზონდირების დისტანციურ მეთოდებისკენ არის გადახრილი. იგივე ეხება ანტარქტიდის, ანდების, ახალი ზელანდიის, გრენლანდიის და სხვა მუდმივი ყინულებით დაფარულ მთიან სისტემებს. ამ მოკლე მიმოხილვის ფარგლებში ძნელია ყველაფრის ძირფესვიანად შეხება, ამიტომ დასაწყისში გავცნოთ რამდენიმე მოკლე ინფორმაციას მყინვარების შესახებ.

ჩრდილო ამერიკის მყინვარები გამყინვარების პერიოდის ნარჩენებია. საუკუნეების განმავლობაში ტემპერატურა მთის მწვერვალებზე იყო საკმაოდ დაბალი, რაც საკმარისი იყო იმისათვის, რომ მყინვარები მეტნაკლებად სტაბილურ მდგომარეობაში შენარჩუნებულიყო. მაგრამ გლობალური დათბობა ანადგურებს საუკუნოვან ყინულებს. ყინულის დნობის მასშტაბების განსაზღვრის მიზნით გამოიყენეს თანამგზავრული ინფორმაცია და 2000-დან 2018 წლამდე პერიოდში მყინვარების სიმაღლის ცვლილება დაადგინეს. აღმოჩნდა, რომ მყინვარების 80%-მა დაკარგა თავისი სიმაღლე, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ისინი ყინულს კარგავენ უფრო მეტს, ვიდრე ზამთარში მოსულმა თოვლმა შეიძლება ანაზღაუროს. 2000-დან 2009 წლამდე ჩრდილო ამერიკის დასავლეთი ნაწილი წელიწადში საშუალოდ 2,9 გიგატონა ყინულს კარგავდა. მაგრამ 2009-დან 2018 წლამდე ყინულის დანაკარგები ოთხჯერ გადიდა, 12,3 გიგატონამდე წელიწადში [<https://bb.lv/statja/tehno/2019/01/22/ledniki-severnoy-ameriki-tayut-v-chetyre-raza-bystrye-chem-desyatiletie-nazad>]



ანალოგიური პრობლემებია გრენლანდიაში, რომლის ყინულის ფარი მთელი დედამიწის მყინვარების საერთო ფართობის ერთ მეათედს შეადგენს. ყოველწლიურად გრენლანდია კარგავდა თავისი ყინულის საფარის ნაწილს, დაახლოებით 250 მილიარდ ტონა ყინულს. 2019 წლიდან დნობის სიჩქარემ რამდენჯერმე მოიმატა – ამ წელს კუნძულმა 600 მილიარდი ტონა დაკარგა. 2021 წლის დათბობა აგრეთვე იყო ანომალური – 29 ივლისს ჰაერის ტემპერატურამ რეკორდულ მაჩვენებელს მიაღწია – **+23,4** გრადუსი ცელსიუსის სკალით, რაც აბსოლუტური რეკორდია და ზაფხულის თვეების საშუალო ტემპერატურას ორჯერ აღემატება. ამ დღეს კუნძულმა 8,4 მილიარდი ტონა ყინული დაკარგა.

მყინვარების დნობის პროცესის დაკვირვებაში გვეხმარება კოსმოსური მონიტორინგის მონაცემები. რადარული გამოსახულებები თანამგზავრ **Sentinel-1**-დან გვაძლევს საშუალებას თვალი ვადევნოთ ყინულოვანი მასების დინამიკას და შევაფასოთ მისი გადაადგილების სიჩქარე თანამგზავრული რადარული ინტერფერომეტრიის (**InSAR – Interferometric Synthetic Aperture Radar**) გამოყენებით.

Sentinel-1-ს რადარული თანამგზავრული სისტემა C-დიაპაზონის (7,5 – 3,8 სმ) რადიოტალღებს გამოიყენებს. დარეგისტრირებული გამოძახილი დაბრუნებული სიგნალის ამპლიტუდის და ფაზის შესახებ ინფორმაციას შეიცავს. რადარული ინტერფერომეტრიის მეთოდი ინტერფეროგრამის აგებაზეა დაფუძნებული – რაც მდგომარეობს ერთი და იგივე ადგილის ერთნაირ პირობებში სხვადასხვა დროს გადაღებული გამოსახულებების შედარებაში.

ყინულის დნობის პროცესის კვლევის კიდევ ერთი ინსტრუმენტია პროდუქტი **MOD10A1 Snow Cover Daily Global**, რომელიც **MODIS (TERRA)** დაბალი სივრცითი გარჩევადობის ოპტიკურ მონაცემებზეა დაფუძნებული. პროდუქტი შეიცავს მონაცემებს თოვლის საფარზე, თოვლის ალბედოსა და თოვლის კარტირების ალგორითმებს, რომლებიც თოვლის ნორმალიზებული სხვაობითი ინდექსის (**Normalized Difference Snow Index – NDSI**) საფუძველზეა აგებული.



NDSI აქვს არეკვლის მაღალი კოეფიციენტი ხელსაწყო **MODIS** – ის ზოლ 4-ში (0,545–0,565 მკმ, ელექტრომაგნიტური სპექტრის ხილული მწვანე დიაპაზონი) და არეკვლის დაბალი კოეფიციენტი ზოლ 6-ში (1,628–1,652 მკმ, საშუალო ინფრაწითელი დიაპაზონი). **NDSI** – ეს არის თოვლის ნორმალიზებული ელექტრომაგნიტური გამოსხივების არეკვლის კოეფიციენტების სხვაობითი შეფარდება 4 და 6 ზოლებში, რომელიც ეფუძნება სპექტრალურ თავისებურებებს, რომლებიც საშუალებას იძლევიან თოვლი უთოვლო ადგილებისგან და ღრუბლებისგანაც გავარჩიოთ.

<https://ru.geosignal.in.ua/post/%D1%81%D0%BF%D1%83%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE-%D0%B2%D1%8B%D0%B9%D0%BC%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D1-%82%D0%BE-%D1%80%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D1%82%D0%B0%D1%8F%D0%BD%D0-%B8%D1%8F-%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2>].

გეორადარული კვლევების შედეგად აღმოსავლეთ ანტარქტიდის ყინულის ფარის ქვეშ აღმოაჩინეს ძველი რელიქტური ლანდშაფტი, რომელიც მთის ქედებისა და მდინარეების ველებისგან შედგება. ამ ამოცანის განსახორციელებლად დარემის უნივერსიტეტის მეცნიერებმა გადაღების მონაცემები ანტარქტიდის რელიეფის ეტალონურ მოდელთან REMA (Reference Elevation Model of Antarctica) კომპლექსში, ზედაპირის რელიეფის დაზუსტებული ციფრული მოდელი, შეუფარდეს ტეხასის უნივერსიტეტის გეოფიზიკის ინსტიტუტის მფრინავი ლაბორატორიის ბორტზე განლაგებული HiCARS-ის საავიაციო გეორადარული სისტემის გადაღების მონაცემებს, რამაც საშუალება მისცათ ყინულის ფენის ქვეშ ზედაპირის პროფილი მიეღოთ. ყინულქვეშა ტოპოგრაფიის ანალიზმა გამოამჟღავნა 32 ათასი კვადრატული კილომეტრის ფართობის ამაღლებული მონაკვეთი, რომელიც 121-დან 173 კილომეტრამდე სიგრძის და 73-დან 85 კმ-დე სიგანის სამ ბლოკად არის დაყოფილი. ეს ბლოკები 40 კილომეტრის სიგანის ღრმულებით არიან გაყოფილი. ღრმულების სიღრმე ოკეანის დონეზე ქვემოთ 620 – 1480 მეტრზეა, ხოლო სამივე ბლოკში გამოვლენილია ტოპოგრაფიული მწვერვალები ზღვის დონიდან 620 – 850 მეტრის სიმაღლის ფარგლებში. [https://nplus1.ru/news/2023/10/24/-antarctic-river-landscape?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop]

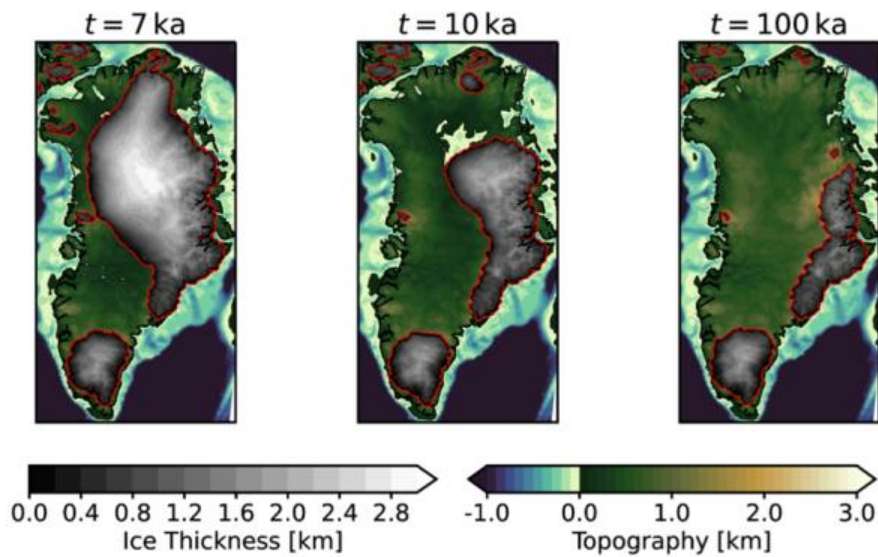
რა ხდება ჰიმალაებში?

მცინვარის ყინულის სისქის შეფასებას შესაძლოა ჰქონდეს უკიდურესად მნიშვნელოვანი ინფორმაცია მცინვარში აკუმულირებული მტკნარი წყლის მარაგების შესახებ. ამის გაგება ადრე, განსაკუთრებით ჰიმალაის მთებში, მკაცრი კლიმატის და ადგილის დასერილობის გამო, საკმაოდ რთული ამოცანა იყო. გეორადარული კვლევა ყინულის სისქის დასადგენად ინდოეთის ხიმაჩალ პრადეშის შტატში მცინვარ ჩხოტა შიგრიზე ჩატარდა. გეორადარს ჰქონდა მრავალჯერადი დაბალსიხშირული ანტენა. გეორადარული გადაღება დისკრეტულ რეჟიმში ტარდებოდა 16 მჰც სიხშირეზე, მიმღებ და გადამცემ ანტენებს შორის 4 მ მანძილით. მონაცემების შეგროვების ინტერვალი აბლაციის ზონის სუფთა ყინულზე მეწყერის სიგრძის გასწვრივ 50 სმ შეადგენდა. ძირეულ ქანებიდან ანარეკლი პროფილებზე მკაფიოდ ჩანდა, რაც იმას მოწმობდა, რომ ყინულის სისქე 110-დან 150 მეტრამდეა, ხოლო გამოკვლეულ ტერიტორიაზე წყლის მარაგი დაახლოებით 0,49 კმ³ ეკვივალენტურია. შედეგებმა აჩვენა აგრეთვე ზედაპირქვეშა ფენის თავისებურობანი, ისეთები, როგორც წერტილოვანი ამრეკლი და ყინულის აბლაციის ზონის შიგნით ხაზობრივი ანარეკლი პლასტიდან. საერთო ჯამში, მცინვარ ჩხოტა შიგრის მცინვარის ყინულის საერთო მოცულობა 1,20 კმ³, ხოლო წყლის ეკვივალენტი 1,05 კმ³, ჰიმალაის მცინვარების ფართობების და სიღრმის შეფარდებების გამოყენებით [1].

დისტანციური ზონდირება თავისი ადეკვატური სივრცითი და დროითი გარჩევადობით, გლობალური დაფარვით და დაბალი ფინანსური ხარჯებით საშუალებას იძლევა სწრაფად, ნახევრად ავტომატურად და ეკონომიურად შეფასდეს მცინვარების პარამეტრების ცვლილებები დიდ ტერიტორიებზე. დისტანციური ზონდირების მიდგომებს შეუძლიათ რეგულარულად აკონტროლონ მცინვარების ისეთი თვისებები, როგორცაა ყინულის ფართობი, ბოლო წერტილის პოზიცია, მოცულობა და ზედაპირის სიმაღლე, საიდანაც შეიძლება დასკვნის გაკეთება მცინვარის მასის ბალანსის შესახებ. ასეთი მეთოდები განსაკუთრებით სასარგებლოა შორეულ რაიონებში, შეზღუდული სავლე გლაციოლოგიური გაზომვებით. მიმოხილულია ხილული და ინფრაწითელი დისტანციური ზონდირების გამოყენების მიღწევები მცინვარის პარამეტრების შესაფასებლად სავლე მეთოდებთან ერთად, ფოკუსირებულია მოცულობის/ფართობის ცვლილებებზე და მცინვარების მასის ბალანსზე. ყურადღება გამახვილებულია კოსმოსური თერმული გამოსხივების და არეკვლის რადიომეტრის (ASTER) სენსორზე და მის გამოყენებადობაზე ჰიმალაის მცინვარების მონიტორინგისთვის. დაფარული მეთოდები: სიმაღლის ციფრული მოდელებიდან (DEMs) მიღებული მოცულობითი ცვლილებები, მულტისპექტრულ ანალიზზე დაფუძნებული მცინვარების გამოკვეთის ალგორითმები, მცინვარის არეალის ცვლილებები ათწლეულის ვადებზე და AAR/ELA მეთოდები, რომლებიც გამოიყენება წლიური მასის ნაშთების გამოსათვლელად. ასევე განიხილება არსებული შეზღუდვები და არსებული გამოწვევები დისტანციური ზონდირების გამოყენებისას მთის მცინვარების მახასიათებლების რუკაზე, განსაკუთრებით ჰიმალაის კონტექსტში. [<https://www.mdpi.com/1424-8220/8/5/3355> Journals Sensors Volume 8 Issue 5 10.3390/s8053355]

ამჟამად საქართველოში სხვადასხვა მონაცემებით 600 – 637 მცინვარია საერთო ფართობით 340 – 520 კმ² (<https://delicatours.ge/ledniki-gruzii-1>; <https://www.bbc.com/russian/articles/c9ejkg4dg91o>). ყველაზე მსხვილები მათგან განლაგებულია სვანეთში (მცინვარები ლარდა-

ადი-ადიში, შხარა, უშხა, ჩალაადი, თვიბერი, წანერი, ლაილა და სხვა), ხევში (დევდორაკის, გერგეთის და აზანოს მყინვარები), ხევსურეთში (მყინვარი ჭაუხი) და რაჭის რეგიონში. მათ შესახებ ინფორმაცია ბატონ ვახუშტი ბაგრატიონის დროიდან იყო ცნობილი. მათ კვლევებში ისეთმა გამოჩენილმა მეცნიერებმა მიიღეს მონაწილეობა, როგორც დ. წერეთელი, ა. ასლანიკაშვილი, ვ. ცომაია, რ. გობეჯიშვილი და სხვებმა. საქართველოს ჰიდრომეტეოროლოგიური ინსტიტუტის თანამშრომლებმა საქართველოს მთის მყინვარების შესწავლისას აღნიშნეს ბოლო 50 წლის განმავლობაში მათი რაოდენობის და საერთო ფართობის მნიშვნელოვანი შემცირება. აღსანიშნავია, რომ ქვეყნის აღმოსავლეთში ეს პროცესი უფრო ინტენსიურია, ვიდრე დასავლეთში. ამასთან კეთდება დასკვნა, რომ ამ საუკუნის ბოლომდე მსხვილი მყინვარების სრული დადნობა არ არის მოსალოდნელი [2]. პროგნოზები გლობალური დათბობის ფონზე არასახარბიელოა. მაგალითად გრენლანდიაში ითვლება, რომ თუ ინდუსტრიულ პერიოდამდე ტემპერატურასთან შედარებით მომატება 2,2 გრადუსზე მეტი იქნება, გრენლანდია თავისი საფარის დაახლოებით 80% დაკარგავს [https://dzen.ru/news/story/SMINEWS_globalnoe_poteplenie_mozhet_privesti_kpotere_80_lda_vGrenlandii-7938a6a8a57bd487b3b38e8e436f5e10?lang=ru&rubric=science&fan=1&stid=67KBtoeLYwBGAf6dIzC3&t=1698001924&persistent_id=4666199950805748932&story=a68d2daa-7269-5f05-86f1-fa48530403c7&issue_tld=ru]



ამ ნახაზზე დატანილია 7, 10 და 100 ათასი წლის პერიოდებისთვის გრენლანდიის ყინულოვანი ზედაპირის საპროგნოზო გამოსახულება, თუ გლობალური გათბობის ტემპები არ შემცირდება. მარცხენა ისარი გვიჩვენებს ყინულის სისქეს, ხოლო მარჯვენა – ზედაპირის სიმაღლეს.

ბრიტანეთის ანტარქტიკული სამსახურის კლიმატოლოგებმა (ა.წ. 23 ოქტომბერს გამოქვეყნდა Nature Climate Change-ში) დაადგინეს, რომ დასავლეთ ანტარქტიდის ყინულის ფარი აგრძელებს სწრაფ დნობას და უახლოეს საუკუნეებში, მიუხედავად იმისა, რა ზომებს მიმართავს კაცობრიობა კლიმატის ცვლილებებთან ბრძოლაში, მაინც ნაწილებად დაიშლება. მართალია, აქვე დაგვაწყნარეს, რომ დასავლეთ ანტარქტიდის მყინვარების კოლაპსი არა ნაკლებ 300 – 500 წლის შემდეგ დაიწყება. [https://dzen.ru/news/story/Uchenye_nazvali_razrushenie_lednikov_Zapadnoj_Antarktidy_neizbezhnymfd64e7f01c55dd0c1902359cccb4776e?l

ang=ru&rubric=personal_feed&fan=1&stid=7SJa&t=1698080267&persistent_id=4666199950805830391&story=beaf990d-eabd-5a27-b379-336fe14b5d61&issue_tld=ru].

ანალოგიური კვლევები ტარდება აგრეთვე კავკასიონის ქედის ჩრდილოეთის მხრიდანაც. ნალჩიკის მაღალმთიანი გეოფიზიკური ინსტიტუტის მეცნიერების ნაშრომში [3] მოყვანილია მონაცემები კლიმატის ცვლილების შესახებ ცენტრალური კავკასიონის მაღალმთიან ზონაში, ტერსკოლის მეტეოსადგურის 1961 – 2020 წლების მონაცემების საფუძველზე და აგრეთვე 1957 – 2020 წლების პერიოდისთვის, ძირითადი ხეობების მყინვარების დეგრადაციის შესახებ.

1961-2020 წლების პერიოდისათვის ზაფხულის ტემპერატურების ზრდის სიჩქარემ ტერსკოლში 0.31°C ათწლეულში და ტებერდაში 0.41°C ათწლეულში შეადგინა. ამ საუკუნის დასაწყისიდან საკვლევი რაიონის თერმული რეჟიმის ცვლილება ზამთრის, ზაფხულის და ზაფხულის საშუალო ტემპერატურების მნიშვნელოვანი ზრდის და ზამთრის ჯამური ნალექების უმნიშვნელო შემცირების ხარჯზე ხდებოდა. ბოლო ათწლეულებში მყინვარების ფართობების შემცირება კავკასიონის მთებში თერმული რეჟიმის ცვლილების ფონზე ხდებოდა, რომელიც სავარაუდოდ ძირითადი მდგენელია მრავალი მოქმედი ფაქტორიდან. შემცირებული მყინვარების გეომეტრიული ზომების და ფართობების გაზომვები ტარდებოდა მე-XX საუკუნის შუაში გადაღებული აეროფოტოსურათებით და 2015-2020 წლების Sentinel-2 კოსმოსური სადგურის სურათებით. საშუალოდ ხეობების მყინვარების ფართობები შემცირდა 12.2%-ით (1-2-დან 40%-მდე). ოპტიკური სისტემების მეშვეობით მყინვარების დისტანციურ ზონდირების დროს გასათვალისწინებელია აგრეთვე ახალი ავტომატური მეთოდის [2] გამოყენება, რომელიც მყინვარების კარტოგრაფირებისას საშუალებას იძლევა მსხვერველების არსებობით გამოწვეული შეცდომების სწრაფ შესწორებას და იძლევა საშუალებას გაცილებით უფრო სწრაფად მოხდეს მყინვარების ზედაპირების ავტომატური კარტირება. ანალოგიური (მყინვარების დნობის) პროცესები, შესაძლოა უფრო მაღალი ტემპებით მიმდინარეობს აგრეთვე კავკასიონის ქედის სამხრეთ მხრიდანაც. მყინვარების და მათი შემადგენელი ნაწილების გეომეტრიული მახასიათებლების მონიტორინგის ინტერესს წარმოადგენს აგრეთვე ყინულის სისქის გაზომვა, ყინულის მოცულობის შეფასება და აგრეთვე მყინვარის ყინულის შიდა სტრუქტურის შესწავლა.

მიწისზედა, საჰაერო და კოსმოსური ბაზირების ზონდირების დისტანციური საშუალებების გამოყენება საშუალებას იძლევა ოპერატიულად ვადევენოთ თვალი ყინულოვანი წარმონაქმნების ცვლილებებს, როგორც მიწის ზედაპირზე, ასევე მის სიღრმეშიც. ამისათვის იყენებენ აკუსტიკური და ელექტრომაგნიტური გამოსხივების პრინციპზე, ტალღის სიგრძეების დიდ დიაპაზონში, მომუშავე ხელსაწყოებს.

მთის მყინვარები შემფოთებას იწვევენ თავისი ფართობის შემცირებით, სისქის ცვალებადობით, მასის ბალანსის და წყლის რესურსებისთვის მათი შედეგების და აგრეთვე, ამ ყველაფერთან დაკავშირებული საფრთხეების თვალსაზრისით. მყინვარების მასის დაკარგვის შენატანი ზღვის დონის გლობალურ მომატებაში და მყინვარებთან დაკავშირებული საფრთხეები ამჟამად ყველაზე მნიშვნელოვანია სხვა სოციალურ-ეკონომიკურ პრობლემებთან ერთად, ამიტომ მყინვარების ცვლილებების დინამიკის გაგება და მუდმივი მონიტორინგი საჭიროა კლიმატის ცვლილების შესასწავლად, წყლის რესურსების სამართავად და ჰიდროენერგეტიკისათვის, და აგრეთვე იმ საფრთხეების პროგნოზი და თავიდან აცილება, რაც მყინვარებთან არის დაკავშირებული. ბოლო წლების მიღწევები დედამიწაზე

მიმდინარე პროცესების დაკვირვების მეთოდებში მნიშვნელოვანია მცინვარების და მათთან დაკავშირებული საშიშროებების შესასწავლად. დისტანციური ზონდირების ტექნოლოგია საშუალებას გვაძლევს მცინვარების ისეთი პარამეტრები შევაფასოთ, როგორებიცაა მცინვარის ფართობი, ალბედო/არეკვლა/გაბნევა, მცინვარის ზონები და სახეობა, წონასწორობის ხაზი, მცინვარის სისქე, მოცულობა, მასის ბალანსი, მცინვარის სიჩქარე და ტოპოგრაფია.

განვიხილავთ მაღალ მიუწვდომელ მთებში წარმოქმნილი მცინვარების გაგებისა და გამოკვლევისათვის დისტანციური ზონდირების ტექნოლოგიების გამოყენების პერსპექტივებს [5, 6].

თოვლის და მცინვარების დისტანციური ზონდირება

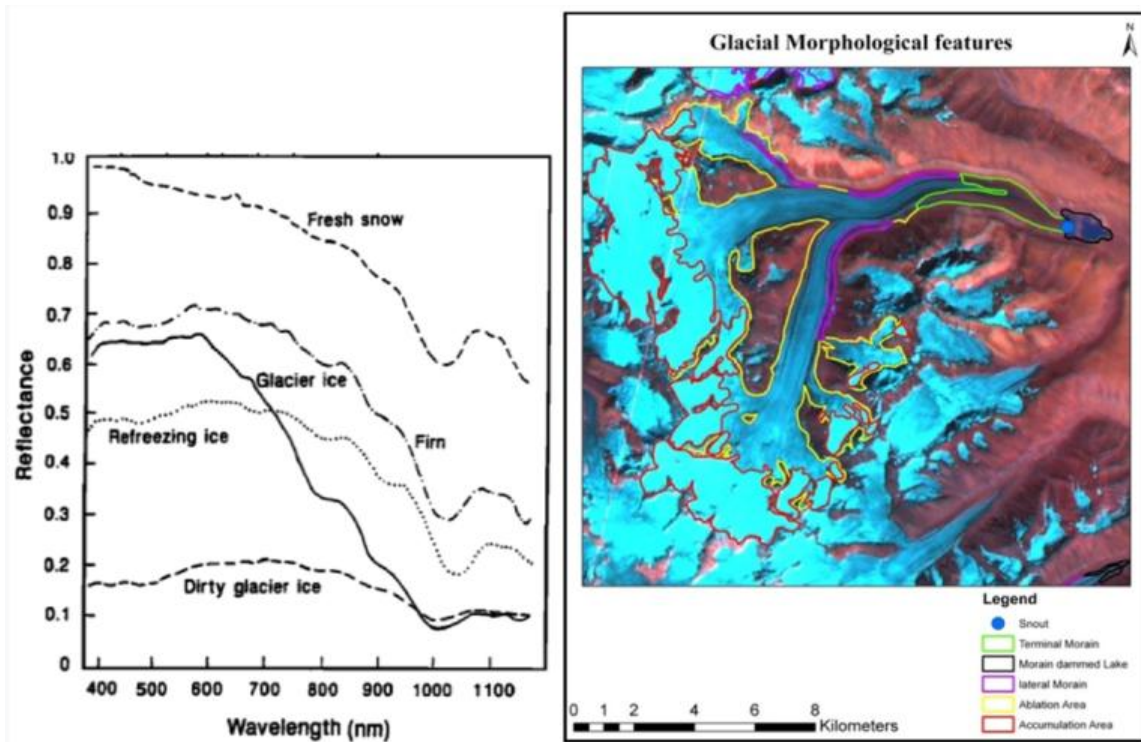
დისტანციური ზონდირება ეს არის ხელოვნება და მეცნიერება, რომელიც საშუალებას იძლევა ობიექტის შესახებ ინფორმაცია შევაგროვოთ მასთან კონტაქტის გარეშე. დისტანციური ზონდირების სისტემა მფრინავ ან კოსმოსურ პლატფორმაზე შეიძლება იყოს განთავსებული და ობიექტის შესახებ ინფორმაციის შესაგროვებლად ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას იყენებდეს. როდესაც დისტანციური ზონდირების სისტემა ბუნებრივ გამოსხივებას იყენებს, ამას უწოდებენ პასიურ დისტანციურ ზონდირებას, ხოლო როდესაც დისტანციური ზონდირების ხელსაწყო საკუთარ გამოსხივებას გენერირებს, ამას აქტიურ დისტანციურ ზონდირებას უწოდებენ [7]. მცინვარის ზედაპირი თოვლის, ფირნის, ყინულის, ქვების, ნაგავის და წყლისაგან შედგება და ყოველივე მათგანს გააჩნია ცვალებადი თვისებები სხვადასხვა ელექტრომაგნიტურ სპექტრში.

ოპტიკური ხილული და ახლო ინფრაწითელი დიაპაზონი

ელექტრომაგნიტური სპექტრის (0,4–3,0 მკმ) ოპტიკური ხილული და ახლო ინფრაწითელი უბნები (VNIR) არიან დისტანციური ზონდირების ძირითადი დიაპაზონი. VNIR სენსორები ზომავენ ობიექტის გამოსხივებას, რომლებიც დაკავშირებულია ობიექტის ალბედოსთან და მისი არეკვლის უნარზე.

მცინვარის სხვადასხვა უბნებს არეკვლის განსხვავებული მახასიათებლები გააჩნიათ, რაც მათ განსხვავებული სახის და შესაბამისად, კარტოგრაფირების საშუალებას იძლევა. ახლად მოსულ თოვლს ძალიან მაღალი არეკვლის უნარი გააჩნია ტალღის სიგრძეების ხილულ უბანში და მნიშვნელოვნად დაბალი ახლო, საშუალო და მოკლეტალღოვან ინფრაწითელ უბნებში. ფირნს, რომელიც შარშანდელ თოვლს წარმოადგენს, თოვლზე 25–30% ნაკლები არეკვლადობა აქვს. მცინვარის ყინულს აქვს მაღალი არეკვლადობა ტალღების სიგრძის ლურჯ (0,4 – 0,5 მკმ) და მწვანე (0,5 – 0,6 მკმ) დიაპაზონებში, მაგრამ ის მკვეთრად, თითქმის ნულამდე ეცემა წითელ (0,6 – 0,7 მკმ) დიაპაზონში. ნატეხები მცინვარზე მნიშვნელოვნად ამცირებენ არეკვლადობას. კოსმოსური სენსორების უმეტესობა რამდენიმე დიაპაზონში მუშაობს და მათ მულტისპექტრალურებს უწოდებენ. ერთ-ერთი წარმატებული, ხანგრძლივი და უწყვეტი VNIR-ის პროგრამა Landsat-ის პროგრამაა, რომელიც 1972 წლიდან უწყვეტად აკვირდება დედამიწას და მონაცემებს აგროვებს (Landsat MSS, TM, ETM+, OLI/TIR). VNIR-ის დანარჩენი ოპტიკური სენსორებია ASTER, SPOT, MODIS, IRS LISS III/IV და AWiFS, Quickbird და IKONOS. ტაბულა 1-ში ოპტიკური დიაპაზონის ის სპექტრალური უბნებია ჩამოთვლილი,

რომლებიც Landsat TM-შია გამოყენებული, ხოლო ტაბულა 2-ში წარმოდგენილია ზოგიერთი მნიშვნელოვანი თანამგზავრული მისიები და მათი მახასიათებლები [7].



ნახ. 1 (მარცხნივ). თოვლის და ყინულის სპექტრალური არეკვლის მრუდები ფორმირების სხვადასხვა სტადიებში და თანამგზავრული გამოსახულება (LISS III, 2000 წ. 11 სექტემბერი).
 ნახ.2 (მარჯვნივ) – ნაჩვენებია მყინვარი სამუდრა ტაპუ-ს გამოსახულება, რომელზეც არეკვლის უნარის საფუძველზე მყინვარის სხვადასხვა მახასიათებლების დემონსტრაციას ახდენს. როგორც სპექტრალური გამოძახილის მრუდიდან ჩანს, თოვლს აქვს მაქსიმალური არეკვლის უნარი, შემდეგ ფირნი და ყინული მოყვებიან. მყინვარის ნამტვრევების საფარს იგივე არეკვლის უნარი გააჩნია, როგორც გარშემო მყოფ ქანებს. იგივე შეიძლება დავასკვნათ მყინვარ სამუდრა ტაპუ-ს თანამგზავრული სურათითაც [6].

ცხრილი 1. სპექტრალური უბნები განსხვავებულ ოპტიკურ დიაპაზონებში

ზოლები (დიაპაზონები)	სპექტრალური უბანი (მკმ)
ხილული (VIS)	0,45–0,52 (ლურჯი)
	0,52–0,60 (მწვანე)
	0,63–0,69 (წითელი)
ახლო ინფრაწითელი დიაპაზონი (NIR)	0,76–0,90
მოკლეტალღოვანი ინფრაწითელი გამოსხივება (SWIR)	1,55–2,35
სითბური ინფრაწითელი (TIR)	10,42–12,50

სითბური ინფრაწითელი

სითბური ინფრაწითელი გამოსხივება (TIR) (3–15 მკმ) დისტანციური ზონდირების მძლავრი ინსტრუმენტია განსხვავებული ტემპერატურის ან გამოსხივების კოეფიციენტის მქონე ქვეითი ობიექტის გამოსაცნობად. 8–14 მკმ სითბურ დიაპაზონში შეიძლება გავზომოთ ზღვის ან დედამიწის ზედაპირის ტემპერატურა, ვინაიდან ტალღების ამ დიაპაზონ-

ნისთვის ატმოსფერო მუშაობს როგორც ფანჯარა. მცინვარის ზედაპირის ტემპერატურა უფრო დაბალია, ვიდრე გარემოს ტემპერატურაა, ამიტომ შესაძლებელია მისი დიფერენცირება თერმული მონაცემებით. მცინვარის თერმულად აქტიური ფენის სიღრმე, სადაც შესაძლებელია სეზონური ცვლილებების შეგრძნება, 10 მეტრს არ აღემატება. გლაციოლოგიური დაკვირვებებისთვის ყველაზე ხშირად თერმოდიაპაზონურ სენსორებად AVHRR, MODIS, Landsat-ის სერია და ASTER-ი გამოიყენება ტაბულა 2.

ცხრილი 2. დედამიწის დისტანციური ზონდირებისთვის რჩეული მისიებისთვის განკუთვნილი ოპტიკური თანამგზავრების სია

პლატფორმა/სენსორი	გაშვების წელი	დიაპაზონების რაოდენობა	სივრცითი გარჩევადობა	სპექტრალური გარჩევადობა
Landsat MSS	1972			
Landsat TM	1984		80 მ	4MS
Landsat ETM+	1999–2003		15, 30, 60/100 მ	PAN, 6MS, 1TIR
Landsat OLI/TIR	2013			2TIR, PAN, 8MS
ASTER	1999	15, 30, 90 მ	14 დიაპაზონი	3VIS/NIR, 6SWIR, 5TIR
SPOT	1984	20მ/10 მ	4 დიაპაზონი	3VIS, 1PAN
MODIS	1999	250, 500, 1000 მ	36 დიაპაზონი	VIS, TIR
Quick Bird	2001	0,6 მ	4 დიაპაზონი	3VIS/NIR, PAN
IKONOS	1999	1 მ	4 დიაპაზონი	3VIS/NIR, PAN
IRS LISS III/IV, AWiFS	1988–2011	72 მ-დან 5.8 მ	4 დიაპაზონი	VIS/NIR

მიკროტალღოვანი ელექტრომაგნიტური სპექტრები

მიკროტალღოვანი სპექტრის ტალღის სიგრძით ოპტიკური VNIR -ის შემდეგ თოვლის და ყინულის თვისებების შესასწავლად ყველაზე პოპულარული უბანია. ზემოდასახეობითი სენსორები შეიძლება როგორც პასიური (რადიომეტრი, 3–6 მკმ სპექტრალური დიაპაზონი) და აქტიური (რადარი, სპექტრალური დიაპაზონი 1–1 მ). ატმოსფერო გამჭურვალეა მიკროტალღოვანი სპექტრის მთელ დიაპაზონში ნებისმიერი ამინდის პირობებში, ამიტომ მიკროტალღოვანი გამოსხივება შეიძლება მცინვარების შესასწავლად დღე-ღამის ნებისმიერ დროს და ნებისმიერ ამინდის პირობებში იყოს გამოყენებული.

ძირითადი უპირატესობაა მიკროტალღური სიგნალების უნარი თოვლსა და ყინულში სხვადასხვა სიღრმეზე შეაღწიოს და შესაბამისად მოგვაწოდოს ინფორმაცია მცინვარების სიღრმისეულ სტრუქტურის შესახებ. სიგნალების შეღწევის სიღრმე ტალღის სიგრძეზეა დამოკიდებული. მშრალი თოვლის ზონაში შეღწევის სიღრმე ათობით მეტრს შეადგენს.

L-დიაპაზონის რადარი არსებითად შეიძლება მცინვარების შიდა სტრატეგიკაციის შესახებ ინფორმაციის მისაღებად იყოს გამოყენებული. სველი თოვლის შემთხვევაში შეღწევადობა ნაკლებია, ვიდრე მშრალ თოვლში. ტალღის სიგრძის გაზრდა ასევე ზრდის შეღწევადობის უნარს. ზედაპირის ხავოიანობა აგრეთვე არსებითად მოქმედებს მიკროტალღური გამოსხივების არეკვლასა და უკუ გაბნევაზე. რადიოლოკაციური დისტანციური ზონდირების სივრცითი გარჩევადობა შეიძლება მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდეს. სინთეზირე-

ბული აპერტურის მქონე SAR მონაცემები შეიძლება იყოს გამოყენებული მცინვარების სახის, სტრატეგიკაციის და აგრეთვე სხვა, ისეთი როგორცაა სისქე და მოძრაობა, პარამეტრების შესასწავლად.

ცხრილებში 3 და 4 წარმოდგენილია დაწვრილებითი ინფორმაცია მიკროტალღურ დიაპაზონებსა და თანამგზავრების შესახებ [7].

ცხრილი 3. მიკროტალღოვანი სპექტრის დიაპაზონები და სენსორები

დიაპაზონი	ტალღის სიგრძე (სმ)	ხელსაწყო
Ka	0.8–1.1	–
K	1.1–1.7	–
Ku	1.7–2.4	–
X	2.4–3.8	TerraSAR-X, TanDEM-X, COSMO-SkyMed
C	3.8–7.5	SIR-C, ERS 1/2, ENVISAT ASAR, RADARSAT 1/2
S	7.5–15	ALMAZ
L	15–30	JERS-1, SEASAT, ALOS PALSAR
P	30–100	–

ცხრილი 4. ზოგიერთი რჩეული სამიებო-სამაშველო მისიების ჩამონათვალი

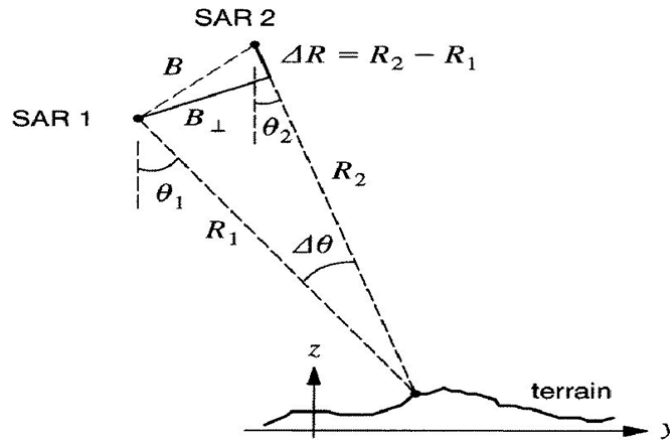
სისტემა	ქვეყანა	გაშვების წელი	დიაპაზონი	გარჩევადობა (მ)
SEASAT	აშშ	1978	L	25
ERS 1/2	ევროპა	1991/1995	C	30
J-ERS	იაპონია	1992	L	18
SIR-C	აშშ	1994	L	–
X-SAR	გერმანია/იტალია	1994	C/X	15–25
Radarsat-1/2	კანადა	1995/2007	C	10–100/3–100
SRTM	აშშ/გერმანია/იტალია	2000	C/X	90/30
ENVISAT	ევროპა	2002	C	30, 150, 1000
ALOS	იაპონია	2006	L	7–100
TerraSAR-X	გერმანია	2007	X	1–16
TanDEM-X	გერმანია	2009	X	1–16
COSMOS-SkyMed	იტალია	2009	X	1–100

როგორც ჩანს, მსგავსი ტიპის ამოცანების გადასაწყვეტად საბჭოთა კავშირი აგრეთვე ახორციელებდა „კოსმოსი“-ს სერიის თანამგზავრების გაშვებას. ასე მაგალითად, კოსმოსიდან ყინულის დაზვერვისას აუცილებელია ზღვის ყინულის საზღვრების დადგენა, მისი ასაკობრივი გრადაციების ამოცნობა, ყინულის ზედაპირზე არხების და ღიობების აღმოჩენა, საფარის მცინვარების საზღვრების აღმოჩენა და დადგენა. რადიოფიზიკურ საშუალებებს, უპირველეს ყოვლისა, გვერდითი სკანირების რადარებს და მიკროტალღურ რადიომეტრებს, აქვთ მნიშვნელოვანი უპირატესობა ამ პრობლემების გადაჭრაში. თანამგზავრებზე დაყენებული ამ საშუალებების საშუალებით შესაძლებელია ინფორმაციის მიღება დღე და ღამე, ნებისმიერ ამინდის პირობებში, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია პოლარული რეგიონებისთვის. გარდა ამისა, რადარი სხვა რადიოფიზიკური საშუალებებისგან განსხვავდება მაღალი გარჩევადობით. აქტუალურია თანამგზავრული რადიოფიზიკური

კომპლექსების შემადგენლობისა და ძირითადი პარამეტრების ოპტიმიზაციის საკითხები. პირველი მონაცემები არქტიკული ყინულის შესახებ კოსმოსიდან 3 სანტიმეტრიანი ტალღის დიაპაზონში იქნა მიღებული Cosmos-1500 თანამგზავრის გვერდითი სკანირების რადარის გამოყენებით. კოსმოსიდან ყინულის დაზვერვის პრობლემების გადასაჭრელად, მიზანშეწონილია გამოიყენოთ უფრო მაღალი პოტენციალის მქონე გვერდითი სკანირების რადარი მიკროტალღურ რადიომეტრთან ერთად, რომელსაც ვერტიკალური პოლარიზაციის მქონე 0.8 და დაახლოებით 3 სმ არხები აქვს [9].

ინტერფერომეტრიული SAR

დაბრუნებული სიგნალის ამპლიტუდის გარდა, SAR ასევე იყენებს დაბრუნებული სიგნალების ფაზას სამიზნის შესახებ ინფორმაციის მოსაპოვებლად. ინტერფერომეტრიული SAR (InSAR) მეთოდი ეფუძნება სულ მცირე ორი რთული SAR გამოსახულების ფაზურ განსხვავებას, რომლებიც მიიღება სხვადასხვა ორბიტალური პოზიციიდან (ერთჯერადი გადასასვლელი) ან სხვადასხვა დროს (განმეორებითი გადასასვლელი). SAR ინტერფერომეტრია იყენებს ფაზის განსხვავებას ორ დაბრუნებულ სიგნალს შორის, რათა გაზომოს მცირე ცვლილებები დედამიწის ზედაპირზე. ერთგადასასვლელი ინტერფერომეტრით, სადაც რადარი აღჭურვილია ორი ანტენით, ადგილზე ერთი და იგივე წერტილი შეიძლება გაიზომოს ერთდროულად ოდნავ განსხვავებული კუთხით, რის შედეგადაც მიიღება სტერეო გამოსახულებები. ეს სურათები შეიძლება გამოყენებულ იქნას წერტილის შესახებ უაღრესად ზუსტი ტოპოგრაფიული ინფორმაციის მისაღებად და სიმაღლის რუკების მოსამზადებლად. InSAR შესანიშნავია მყინვარის ზედაპირის სისქის ცვლილებების გამოსათვლელად დიდი სივრცითი და დროითი მასშტაბებით. SRTM არის ერთი გავლის ინტერფერომეტრიის საუკეთესო მაგალითი, რომელიც გამოიყენებოდა მაღალი სიზუსტის გლობალური სიმაღლის მატრიცის შესაქმნელად. ERS 1 და 2 ტანდემის მონაცემები (1996/1997) იყო პირველი განმეორებითი გავლის SAR მონაცემები ინტერფერომეტრიული ლაზირების შესაძლებლობით. TerraSAR-X დანამატი ციფრული სიმაღლის გაზომვისთვის (TanDEM-X) არის InSAR ოჯახის ახალი წევრი SRTM-თან ერთად, რომელიც შედგება ორი თანამგზავრისგან TerraSAR-X და TanDEM-X. TanDEM-X (TDX) დაიწყო 2010 წლის ივნისში, როგორც TerraSAR-X-ის გაფართოება მჭიდრო ფორმირებით, რომელიც უზრუნველყოფს სტერეოსკოპულ გამოსახულებას. ამ მისიის მთავარი მიზანი იყო ინტერფერომეტრიული მონაცემების შეგროვება მთელს მსოფლიოში, რათა მიეღო ერთიანი, მაღალი გარჩევადობის გლობალური DEM, შედარებით დიდი ვერტიკალური სიზუსტით, 2 მ-ზე უკეთესი, ჰორიზონტალური გარჩევადობით 12 მ [10]. ამ ერთჯერად ბისტატიკურ მისიას აქვს მაღალი ხარისხის და ზუსტი DEM-ის წარმოქმნის უპირატესობა, განმეორებითი მისიის შედეგად მიღებული მონაცემების დაბალი თანმიმდევრულობის და შეზღუდული სიზუსტის მიუხედავად. DEM გენერაცია InSAR პროცედურიდან მოიცავს ინტერფერომეტრიის გენერირებას, ფაზის ამოხსნას, მრავალჯერად დათვალიერებას, ხელახლა გამარტივებას, ფაზა-სიმაღლეზე გადაქცევას და გეოკოდირებას [11]. ინტერფეროგრამა წარმოიქმნება ორი ანტენიდან დაბრუნებულ სიგნალებს შორის ფაზის სხვაობიდან. ინტერფეროგრამის ფაზაზე გავლენას ახდენს გეომეტრიული ეფექტები და სამიზნე ტოპოგრაფია, იმ პირობით, რომ არ არის სამიზნე მოძრაობა [12]. გეომეტრიული ეფექტების აღმოფხვრით შესაძლებელია სამიზნე სიმაღლის მიღება და DEM-ის წარმოქმნა [12].



InSAR-ის მიღების გეომეტრიის პრინციპი (ფიგურა [1] – დან)

InSAR-ის მიერ გენერირებული DEM არის ძალიან ზუსტი და შეიძლება გამოყენებულ იქნას მცინვარის სიმაღლის ცვლილებების დასადგენად სხვა ტოპოგრაფიულ პარამეტრებთან ერთად. სიმაღლის ცვლილება შემდეგ შეიძლება გამოყენებულ იქნას მცინვარების მასის ბალანსის გამოსათვლელად. ERS1/2 ტანდემის მისია ფართოდ გამოიყენებოდა სხვადასხვა ობიექტების მოძრაობის დასადგენად [13]. ნახაზი გვიჩვენებს რადარის ინტერფერომეტრიის მონაცემების შექმნის გეომეტრიას.

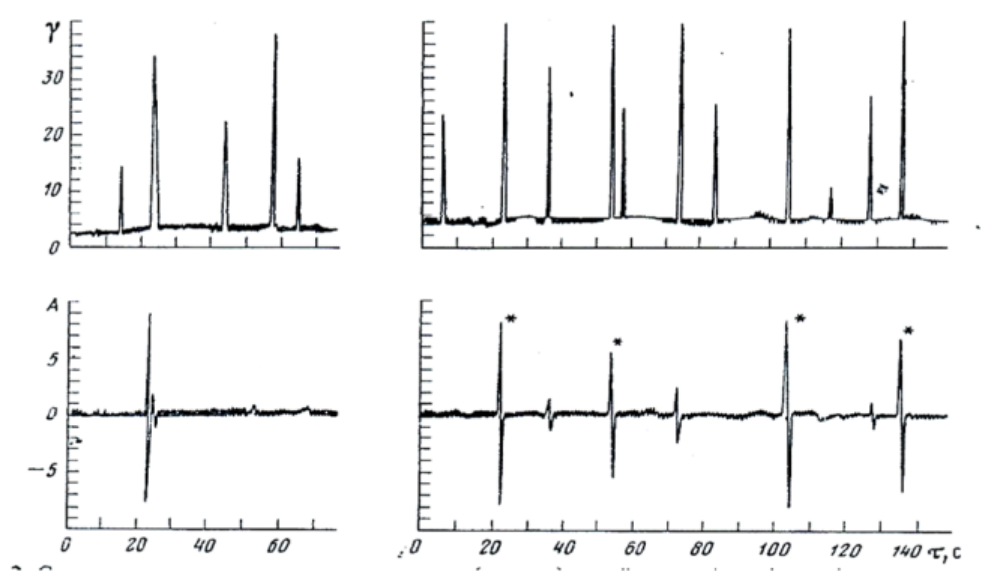
SAR1 და SAR2 დაფრინავენ პარალელური ტრაექტორიების გასწვრივ და სკანირებენ რელიეფს ერთდროულად რამდენიმე სხვადასხვა მიმართულებით (ერთგასასვლელი ინტერფერომეტრია) [14]. InSAR მეთოდი დაფუძნებულია SAR1-დან და SAR2-დან დაბრუნებული სიგნალების ფაზაზე. InSAR ტექნოლოგიის გამოყენება შესაძლებელია მაღალი სიზუსტით ტოპოგრაფიული ინფორმაციის მისაღებად და სამიზნე გადაადგილებისთვის.

ამჟამად ფართოდ გამოიყენება კრიოსფერული წარმონაქმნების კვლევის მრავალფეროვანი დისტანციური მეთოდები სხვადასხვა დიაპაზონებში: ხილულში [15], ინფრაწითელში [16], რადიო- [17] და მიკროტალღურში [18, 19, 20]. მთიან ადგილებში გეოლოგიურ საშიშროებების შესახებ ადრეული გაფრთხილების სისტემების და რისკების შეფასების კომპლექსური მეთოდების მიმოხილვა მოცემულია ნაშრომში [21] და შეიცავს გეოლოგიური საშიშროებების შესწავლას, ისეთების როგორც მეწყერები, ჩამონგრევები, ღვარცოფული ნაკადები დისტანციური მეთოდების გამოყენებით (მაგალითად InSAR, ოპტიკური დისტანციური ზონდირება ან კარტირება უპილოტო საფრენი აპარატების მეშვეობით), ადგილზე საინჟინრო-გეოლოგიურ გამოკვლევებს ან მოწყობილობებს რეალურ დროში მონიტორინგისთვის.

ლენინგრადის ჰიდრომეტეოროლოგიური ინსტიტუტის მკვლევართა ჯგუფმა [22, 23] აღმოაჩინა, რომ წყლის კრისტალიზაციის დროს გარკვეულ პირობებში მაღალი ელექტრული პოტენციალის (10^2 ვოლტის რიგისა) გაჩენა და ფაზების გაყოფის საზღვარზე თხელ გადასვლელ ფენაში სტატიკური დიელექტრული შეღწევადობის მკვეთრი ზრდა (10^3 – 10^4 ჯერ) დაიკვირვება.

სავარაუდოდ წარმოსადგენია, რომ წყლის ფაზურ საზღვრებზე ყველა დინამიურ სტრუქტურული პროცესებს თან ახლავს ელექტრული მოვლენები, რომლებიც იწვევენ ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას ამა თუ იმ დიაპაზონში, თუ საკმარისად დიდია პროცესის

მიმდინარეობის სიჩქარე ან დინამიური დატვირთვის სიდიდე. იმ გარემოების გათვალისწინებით, რომ გენერირებული გამოსხივების სიმძლავრე ზოგადად ნივთიერების მასის და დინამიური დატვირთვის სიდიდის პროპორციულია, მთის პირობებში (სადაც დაიკვირვებოდა მყინვარების დასკდომა და მეწყერები, თოვლის ზვავების ჩამოსვლა და ა.შ.), იყო ჩატარებული სავსე კვლევები სხვადასხვა ბუნებრივად და ხელოვნურად გამოწვეული დინამიური პროცესების დროს, ყინულის რადიოგამოსხივების კვლევა. იყო დარეგისტრირებული ელექტრომაგნიტური და სეისმური სიგნალები 0,1-30 ჰც სიხშირის უბანში. ელექტრომაგნიტური სიგნალები წინ უსწრებდა სეისმურ სიგნალს და იყო გამოწვეული, როგორც ჩანს, მყინვარის შეკუმშვით და შემდგომი წანაცვლებით. ამ გარემოებამ მისცა ავტორებს [24] საშუალება ჩათვალათ დადგენილად ადრე უცნობი მოვლენა ბუნებრივი დინამიური პროცესების დროს თოვლის და ყინულის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების მოვლენა, რომელიც შესაძლოა იყოს გამოყენებული ზვავებსა და მყინვარებზე დისტანციური დაკვირვების დროს. ამ მოვლენის ერთ-ერთი თანაავტორი ვ. პსალომშიკოვი გახდა შემდგომ ზვავების ჩამოსვლის და აგრეთვე მთის მყინვარების ცოცვის მოკლევადიანი პროგნოზის შემქმნელი [25]. თოვლ-ყინულოვანი კატასტროფების მათი რადიოგამოსხივებით მოკლევადიანი პროგნოზის მეთოდის არსი მარტივია – ყველა დიელექტრიკული მასალა, რომლებსაც მიეკუთვნება აგრეთვე თოვლიც, ყინულიც და მთის ქანებიც, პლასტიკური დეფორმაციის, და აგრეთვე შემდგომი ნგრევის (დაშლის) დროს, შუქის, აკუსტიკური სიგნალების და რადიოდიამაზონში ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ემისიის წყაროებია.



ამ სურათზე ნაჩვენებია ელექტრომაგნიტური (ზედა) და სეისმური (ქვედა) სიგნალების სინქრონული ჩანაწერი, რომელიც დაფიქსირდა მყინვარის ბუნებრივი და ხელოვნური რყევის დროს 1977 წლის 17 აგვისტოს. ელექტრომაგნიტური და სეისმური სიგნალების გატარების ზოლია 0,1 – 30 ჰც [24].

ზვავი, რომელიც ჩამოსასვლელად ემზადება ან მყინვარე, რომელიც მოცოცავს, ასხივებენ აკუსტიკურ სიგნალს სპექტრის საკმაოდ განიერ დიაპაზონში – ინფრაბერებიდან ულტრაბერებამდე. აშშ-სა და შვეიცარიაში ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა აჩვენეს, რომ აკუსტიკური ემისია მკვეთრად მატულობს რამოდენიმე საათით ან დღე-ღამით ადრე თოვლის

ზვავის ჩამოსვლამდე ან მყინვარის წანაცვლებამდე. ასე მაგალითად, შვეიცარიაში, მთა ეიგერზე დაკიდებული მყინვარიდან მოწყვეტილი ყინულის დიდი მასის ჩამოშლა ($\approx 10\ 000\ \text{მ}^3$) იყო დარეგისტრირებული მონიტორინგის ინფრაბგერითი სისტემის დახმარებით [26], რამაც მისცა საშუალება შეეფასებინათ ჩამოვარდნილი ყინულის მასის მოცულობა, ტრაექტორია და სიჩქარე.

დაკვირვებებმა ინფრაბგერით გამოსხივებაზე შესაძლოა წარმოგვიდგინონ მყინვარების ჩამოშლის და ყინულოვანი ზვავების მოცულობის შესახებ რაოდენობრივი ინფორმაცია, რითიც გვეხსნება ახალი პერსპექტივები ზვავსაშიში მყინვარების მონიტორინგსა და მათი ჩამოშლის მოვლენების გაფრთხილებების შესახებ.

მიმართული რადიოანტენები საშუალებას გვაძლევს საკმაოდ უსაფრთხო მანძილიდან რამოდენიმე კილომეტრის ფარგლებში დავაფიქსიროთ სიგნალის წყარო, ხოლო მათი გაჩენის დროითი წინსწრება, შეფასებების თანახმად, რამდენიმე საათს შეადგენს, ამასთანავე ჩამოსვლამდე რამდენიმე წუთით ადრე სიგნალი მკვეთრად ძლიერდება.

ამ აღმოჩენის ერთ-ერთი გამოყენებაა ჩრდილოეთში გემების ყინულებში გაყვანისას თვითმფრინავიდან დისტანციური ზონდირებით ბზარების და სუფთა წყლის არეების მოძებნა [27]. ყინული მრავალ უნიკალურ ფიზიკურ თვისებებს ფლობს. მას გააჩნია თორმეტი სტრუქტურული მოდიფიკაცია, რომლებიც წნევის და ტემპერატურის ცვლილებისას პოლიმორფული გარდაქმნების ხარჯზე გარდაიქმნებიან. ზოგიერთი მოვლენები, რომლებიც დაკავშირებულია ყინულის დინამიკასთან, ყინულის ფაზის მონაწილეობით ფაზური გარდაქმნების მიმდინარეობისას იწვევენ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გენერირებას სიხშირეების ფართო დიაპაზონში. მყინვარების და თოვლის ზვავების ჩამოსვლა, ყინულში ბზარების გავრცელება იწვევს საშუალო სიხშირეების დიაპაზონში რადიოგამოსხივებას. გარსია-ფერნარდესმა, ლ. კაჩურინმა, ბ.ბერიმ, გუდზენკომ და სხვებმა აღმოაჩინეს და გამოიკვლიეს წყლის, წყლის ხსნარების და ზოგიერთი სხვა ნივთიერების კრისტალიზაციისას იმპულსური რადიოგამოსხივება დაახლოებით $10^4 - 10^6$ ჰც-ის სიხშირეების ზოლში. ამ კვლევების ავტორები რადიოგამოსხივების იმპულსებს აკავშირებდნენ ძირითადად იმ აირის განმუხტვების პროცესებთან, რომელიც ხდება ბზარების ნაპირებს შორის, რომლებიც, როგორც ვარაუდობდნენ, კრისტალიზაციის ფრონტის მახლობლად მყარ ფაზაში ჩნდებიან. [28] ნაშრომში მოყვანილია ყინულის არაწონასწორულ ზრდის პირობებში ყინული-წყლის სისტემაში საკუთარი ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გამოკვლევა და მისი პარამეტრების კავშირი კრისტალიზაციის პროცესის სტრუქტურულ-კინეტიკურ მახასიათებლებთან. არასტაციონარული ელექტრული ველის პოტენციალი (ელექტრომაგნიტური ემისიის სიგნალი) წყლის მაკრისტალიზებელი სინჯის მახლობლად ბრტყელი ზონდის, 9 ფართოზოლიანი (გატარების ზოლი – $10^{-1} - 10^7$ ჰც) გამაძლიერებლის, ანალოგური ციფრული გარდამქმნელის და კომპიუტერის მეშვეობით იზომებოდა. რიგ შემთხვევაში გამოიყენებოდა თვითმწერი და ოსცილოგრაფი.

ელექტრომაგნიტური ემისიის ყველა დარეგისტრირებული სიგნალი შეიძლება ორ დამახასიათებელ ჯგუფად გავყოთ: I ტიპის სიგნალები – $10^{-1} - 10^2$ ჰც სიხშირეების ზოლში და II ტიპის სიგნალები – $10^3 - 10^6$ ჰც სიხშირეების ზოლში. აღმოჩნდა, რომ I ტიპის სიგნალები დაკავშირებულია უშუალოდ ყინულის მარცვლების ფორმირებასთან, მათ შეჯახებებთან, გვერდითი განშტოებების შექმნასთან და ა.შ. და მეოცემულ სიტბურ პირობებში კრისტალიზაციის დინამიკის არასტაციონარულ ხასიათს ასახავენ, მაშინ როდესაც II ტიპის იმ-

პულსები გამოწვეულია მეორადი პროცესებით, რომლებიც თან ახლავს კრისტალიზაციის პროცესს – მზარდი ბზარების განვითარება, ხახუნი, კიუვეტის კედლებიდან მოშორება და ა.შ. ამიტომ ელექტრომაგნიტური ემისიის სიგნალების კრისტალიზაციის კინეტიკასთან და რომელიმე მეორად პროცესებთან (ბზარების განვითარება და ა.შ.) დადგენილ კორელაციებს სავარაუდოდ აქვთ უნივერსალური ხასიათი და შესაძლოა გახდეს საფუძველი ახალი ელექტრომაგნიტური მეთოდების დამუშავებისას: ა) კრისტალიზაციის მორფოლოგიურად არამდგრადი ფრონტის დისტანციური კვლევა; ბ) დიელექტრიკის კრისტალის ზრდის უკონტაქტო კონტროლი და მზარდი ბზარების გამოვლენა; გ) იმ გეოფიზიკური ობიექტების უწყვეტი მონიტორინგი, რომლებიც ყინულის და თოვლის დიდ მასას შეიცავენ და კატასტროფული მოწყვეტის უნარი გააჩნიათ (მყინვარები, თოვლის ზედაპირი და ა.შ.).

მყინვარების შიდა სტრუქტურის, ქვეფენილი ზედაპირის, ტბების და ა.შ. შესასწავლად იყენებენ სხვადასხვა ტიპის გეორადარს, ანუ გეორადიოლოკაციურ ზონდირებას (GPR). გეორადარის საშუალებით წარმოებს მყინვარების ზედაპირიდან, რამდენიმე მეტრიდან რამდენიმე კილომეტრის სიღრმის ქვეზედაპირის გამოკვლევა.

მყინვარების დინამიკის შესასწავლად და მათი ამჟამინდელი მდგომარეობის ინვენტარიზაციისთვის თანამგზავრებიდან Quick Bird, Pleiades, Landsat 4, 5, 7, 8 მიღებულ ინფორმაციას იყენებენ.

თანამედროვე განმყინვარება მთის რაიონებში შესამჩნევად რეაგირებს ამჟამად მიმდინარე კლიმატის დათბობაზე. ციმბირის მცირე მყინვარები უფრო ოპერატიულად რეაგირებენ კლიმატის ცვლილებებზე და ამიტომ თავისებურ ინდიკატორებად შეიძლება ჩაითვალოს. ადრე მყინვარები ძირითადად ქვეითი საშუალებით შეისწავლებოდა, ხოლო წინა საუკუნის შუა წლებიდან უკვე დისტანციური ზონდირების (აეროფოტოგადაღებები და კოსმოგადაღებები) მონაცემების გამოყენებით.

2018 წელს პირველად ჩატარდა რადეს მყინვარის (აღმოსავლეთი საიანი) გეორადარული პროფილირება, რამაც არა მარტო დააზუსტა მისი ზედაპირული მახასიათებლები, არამედ მისცა საშუალება შეეფასებინადა ყინულის სისქე და აგრეთვე მისი შიდა სტრუქტურა (ფირნის ფენა, ყინული, კალაპოტი). გეორადარული პროფილირება [29] ჩატარებული „ოკო-2“ ტიპის გეორადარით „ტრიტონ“-ის ტიპის ანტენის ბლოკით (ცენტრალური სიხშირე 100 მჰც) დიელექტრიკული შეღწევადობით 3,2 და არეკლილი ტალღის მოლოდინის დისტანციით 120 მ. ნავიგაციური ინფორმაცია Garmin GPSmap-76Csx და GPSmap-64st ტიპის პორტატული GPS – მიმღებებიდან გროვდებოდა. ამის შედეგად იყო აგებული ფირნის ზედაპირი, მყინვარის ყინულოვანი კალაპოტი, ფსკერის მორენების კალაპოტი და კალაპოტი ძირეული ქანების საზღვარზე. დადგინდა ამ მყინვარის ყინულის მოცულობა – 0,003 კმ³ და ძირითადი ყინულის სხეულის მაქსიმალური სისქე – 42 მეტრი. 112 წლის დაკვირვების შედეგად დადგინდა, რომ მყინვარის ფართობი შემცირდა 0,43-დან 0,09 კმ²-დე, ხოლო მისი სისქე 30 მეტრით. ბოლო 68 წლის განმავლობაში მყინვარ რადეს ღია ძირითადი ნაწილის ფართობი შემცირდა 0,3-დან 0,06 კმ²-დე.

ნამუშევარში [30] მოყვანილია რადიოლოკატორის აღწერილობა და 300 მეტრამდე სისქის ცივი, სუბპოლარული და თბილი მყინვარების მონოიმპულსური ზონდირების მეთოდი. ქვეზედაპირის (ზედაპირქვეშა) რადიოზონდირების მეთოდები ფართოდ გამოიყენება მყინვარების შიდა აგებულების და ელექტროფიზიკური პარამეტრების შესასწავლად და აგრეთვე სისქის, კალაპოტის რელიეფის და სხვა მახასიათებლების დასადგენად.

მიწისზედა ტრანსპორტიდან 300 მეტრამდე და მეტი სისქის სუბპოლარული თბილი და ცივი მყინვარების ზონდირებისათვის შეიქმნა და დამზადდა დაბალსიხშირული ვიდეომპულსური რადიოლოკატორი (ВИРЛ) რადიოლოკაციური და ნავიგაციური მონაცემების ციფრული რეგისტრაციით. რადიოლოკატორი ВИРЛ შედგება შემდეგი ნაწილებისგან: გადამცემი, მიმღები, გადამცემი და მიმღები ანტენები, სინქრონიზაციის სისტემები, ციფრული რეგისტრაციის და ინდიკაციის სისტემები და აგრეთვე გარე მოწყობილობები – GPS-მიმღები, ოდომეტრი (მანძილის გამზომი ტრასით) და კვების წყარო. სინქრონიზაციის სისტემად გამოყენებულია რადიოარხი და ოპტიკურ-ბოჭკოვანი არხი. რადაროგრაფებზე მკაფიოდ გამოიყოფა ანარეკლები კალაპოტიდან, რომლებიც შემდგომში ყინულის სისქის რუკების და ჭრილების ასაგებათ გამოიყენება.

პოლარული აკვატორიების გემის ბორტიდან ან საფრენ აპარატიდან დისტანციური ზონდირებისათვის ზოგადი ფიზიკის ინსტიტუტში შექმნილია კომპაქტური ლიდარი [31]. სისტემა კომპაქტურია (40×30×20 სმ), აქვს მცირე წონა (20 კგ) და დაბალი ენერგომომხმარება (200 W) და შეუძლია ერთდროულად რამდენიმე პარამეტრის გაზომვა: წყლის ტემპერატურა, ორგანული ნივთიერებების და ქლოროფილის კონცენტრაციის სივრცითი განაწილება, აგრეთვე წყლის ქიმიური ნივთიერებებით და მასში გახსნილი აირებით დაბინძურება, შელფური ყინულის თოვლის საფარის ხაოიანობის ხარისხის დადგენა, თოვლის საფარის ოპტიკური და თერმოდინამიკური თვისებები და ა.შ.

განვიხილოთ პლასტიკური დეფორმაციის დროს ყინულოვანი სტრუქტურების მდგომარეობის რადიოლოკაციური რეგისტრაციის თავისებურებანი [32]. ისინი დაფუძნებულია გაბნეული მიკროტალღოვანი გამოსხივების ინტენსიობის მომატების განსაზღვრაზე, განსაკუთრებით 13–14 გჰც სიხშირის სპექტრულ ინტერვალში. ეფექტი განისაზღვრება პლასტიკური დინების ავტოტალღების სიგრძით, ერთი სანტიმეტრის რიგის სახასიათო მნიშვნელობით. ავტოტალღები ქმნიან ყინულში ქაოტურად განაწილებულ, მექანიკური დამაბულობის მოქმედებით დროში ცვალებად დიფრაქციული ბადეების ნაკრებებს.

ყინულის საფარის რადარული კოსმოსურათების ანალიზის დროს იყო აღმოჩენილი უკუგაბნევის კოეფიციენტის მომატებული მნიშვნელობა. პლასტიკური დინების ავტოტალღების გამომჟღავნების ეფექტს ყინულის საფარის თერმოდინამიკური ტემპერატურის ძლიერ დღეღამურ ცვლილებებს უკავშირებენ. შემოთავაზებულია დინების ტალღების რადარული რეგისტრაციის მეთოდის გამოყენება როგორც წინამორბედი, პულსირებადი მყინვარების ჩამოსვლისას, ვინაიდან შედარებითი გაზომვებისას ობიექტიდან გაბნეული გამოსხივება გაძლიერდება. ამ კვლევის მიზანია ყინულის დიდი მასების კრიტიკული მდგომარეობის ოპერატიული გამოვლენის მეთოდის შემოთავაზება და აგრეთვე მათი მსხვრევის პროგნოზირება. თანამგზავრული რადიოლოკაციის დახმარებით შესაძლოა პლასტიკური დინების ავტოტალღების გამოვლენით პულსირებადი მყინვარების ჩამოსვლის სავარაუდო ადგილების მიგნება. დედამიწის ზედაპირის რეგულარული რადარული გაზომვების ჩატარებისას შესაძლოა აღმოვაჩინოთ ყინულის სტრუქტურების დაშლის (ჩამოშლის) წინამორბედები, მაგალითად მყინვარების ჩამოშლა გამოსხივების გაბნევის გაძლიერებით.

მყინვარების ზონდირების დისტანციური მეთოდების ამ მოკლე მიმოხილვის დასკვნით ნაწილში ჩვენ ვარაუდით, იმისათვის, რომ მომავალში მომზადებულები შევხვდეთ ისეთ ბუნებრივ კატასტროფებს, როგორც მოხდა შოვში და აგრეთვე დევდორაკის ხეობა-

ში [33], სადაც ყაზბეგის ვულკანული ცენტრის ქსელმა 2014 წლის 17 მაისს დააფიქსირა ყინულის და ქვების მასის ჩამოშლა დევდორაკის მყინვარის რაიონში და წარმოშობილი ქვაყინულის ზვავის მოძრაობა [34], ხოლო ავტორებმა [35], Landsat, ASTER, SENTINEL, PLIADES-ით მიღებული თანამგზავრული და აეროფოტოგადაღების სურათების გამოყენებით და სითბური გამოსხივების და გლობალური ციფრული მოდელის გაუმჯობესებული გარჩევადობით 30 მ (ASTER GDEM; 2011წ. 17 ნოემბერი) კოსმოსური რადიომეტრის დახმარებით შეძლეს ამ მოვლენის რეკონსტრუქცია, საჭიროა შეიქმნას ადრეული შეტყობინების ისეთი სისტემები, რომლებიც ადამიანებს დროის მარაგს მისცემენ თავის გადასარჩენად. ცხადია, რომ უპირატესობა უნდა მიენიჭოს ზვავების ჩამოსვლის და მთის მყინვარების წაცოცებების პროგნოზირების მოკლევადიან მეთოდებს [25], და რაც უფრო ყოვლისმომცველია – პლასტიკური დეფორმაციის დროს ყინულის სტრუქტურების მდგომარეობის თანამგზავრებიდან რადიოლოკაციურ რეგისტრაციას [32].

ლიტერატურა – References – Литература

- [1] Singh S., Rathore B., Bahuguna I., Ramnathan A., Ajai. Estimation of glacier ice thickness using Ground Penetrating Radar in the Himalayan region, *Current Science* Vol. 103, No. 1 (10 July 2012), pp. 68-73 (6 pages) <https://www.jstor.org/stable/24084943>
- [2] Kordzakhia G., Shengelia L., Tvauri G., Dzadzamia M. The Climate Change Impact on the Glaciers of Georgia. *RS Global Sp. z O.O, Scientific Educational Center Warsaw, Poland. Word Science, T. 1. No. 4 (44). Pp.29-32*
- [3] Bekkiev M., Dokukin M., Kalov R., Tashilov A. Modern degradation of valley glaciers of the Central Caucasus. *Fundamental and Applied Climatology*, 7(3), 2021, pp. 113–141. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2021-3-113-141> (in Russian)
- [4] Holobacă I-H, Tielidze L., Ivan K., Elizbarashvili M, Alexe M, Germain D., Petrescu SH., Pop OT., Gaprindashvili G. Multi-sensor remote sensing to map glacier debris cover in the Greater Caucasus, Georgia. *Journal of Glaciology* 67(264), 2021, pp. 685–696. <https://doi.org/10.1017/jog.2021.47>
- [5] Chikhladze V., Varamashvili N. Some Modern Methods For Remote Sensing Of Mountain Glaciers. *International Scientific Conference "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes" Proceedings, Tbilisi, Georgia, November 16-17, 2023*
- [6] Pandey P., Ramanathan A., Venkataraman G. Remote Sensing of Mountain Glaciers and Related Hazards. *Open Access Peer-Reviewed Chapter. In. Intech Open Limited. 5 Princes Gate Court, London, SW7 2QJ, 08 June 2016. DOI: 10.5772/61917*
- [7] Gareth R.W., Pellikka P. Principles of remote sensing. *Remote Sensing of Glaciers*, Editors: Pellikka P and Rees G, CRC Press, Boca Raton, Fla, 2010, pp. 1–20.
- [8] Rignot E, Echelmeyer K, Krabill W. Penetration depth of interferometric synthetic-aperture radar signals in snow and ice. *Geophysical Research Letters*, 28(18), 2001, pp. 3501–3504.
- [9] Drapkin M., Kurevleva T., Loschilov V. Assessing the information content of satellite radiophysical complex data when sounding Arctic ice. *Proceedings of GosNITSIPR*, issue 26, 1986, pp. 48-55.
- [10] Krieger G., Moreira A., Fiedler H., Hajnsek I., Werner M., Younis M., Zink M. TanDEM-X: a satellite formation for high-resolution SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(11), 2007, pp. 3317–3341.
- [11] Erasmi S., Rosenbauer R., Buchbach R., Busche T., Rutishauser S. Evaluating the quality and accuracy of TanDEM-X digital elevation models at archaeological sites in the Cilician Plain, Turkey. *Remote Sensing*, 6, 2014, pp. 9475–9493, doi:10.3390/rs6109475.
- [12] König M. Measuring snow and glacier ice properties from satellite. *Reviews of Geophysics*, 39 (1), 2001, pp. 1–27.
- [13] Kumar V., Venkataraman G., Rao Y.S. SAR interferometry and speckle tracking approach for glacier velocity estimation using ERS-1/2 and TerraSAR-X spotlight high resolution data. *Geoscience and*

- Remote Sensing Symposium, 2009 IEEE International, IGARSS 2009 (Volume:5), Cape Town, 2009, pp. 332–335.
- [14] Balmer R., Hartle P. Synthetic aperture radar interferometry. *Inverse Problems*, 14, 1998, R1–R54.
- [15] Kotlyakov V., Desinov L., Desinov S., Rudakov V. Movements of Pamir glaciers in 2020. *Ice and Snow*, T. 61, No. 3, 2021, pp. 471–480 DOI: 10.31857/S2076673421030102. (in Russian)
- [16] Lo Vecchio A., Lannutti E., Lenzano M., Mikkan R., Vacafior P., Lenzano L. MODIS Image-derived ice surface temperature assessment in the Southern Patagonian Icefield. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. V. 43, Iss. 6, 2019, pp. 754–776. DOI: 10.1177/0309133319851022.
- [17] Macheret Yu., Glazovsky A., Lavrentyev I., Marchuk I. Distribution of cold and warm ice in glaciers on Nordenskiöld Land (Spitsbergen) according to ground-based radio sounding data. *Ice and Snow*, T 59, No. 2, 2019, pp. 149–166. DOI: 10.15356/20766734-2019-2-430, (in Russian)
- [18] Bordonsky G., Gurulev A., Krylov S., Orlov A., Tsyrenzhapov S. Determination of areas of bottom gas separation in water areas with fresh ice according to radar and radiometric measurements. *Modern problems of remote Sensing the Earth from Space*, Vol. 13, No. 3, 2016, pp. 150–161. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-3-150-161, (in Russian);
- [19] Tikhonov V., Raev M., Sharkov E., Boyarsky D., Repina I., Komarova N. Monitoring sea ice in polar regions using satellite microwave radiometry. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. Vol. 12, No. 5, 2015, pp. 150–169 (in Russian);
- [20] Shokr M., Sinha N. *Sea Ice: Physics and Remote Sensing*. USA: John Wiley and Sons; American Geophysical Union, 2015, 600 p. DOI: 10.1002/9781119028000
- [21] Zhu C., Xu Y., Tao Z., Zhu H.-H., Cao C., He M. Overview of Comprehensive Risk Assessment Methods and Hazards Early Warning System for Geological Hazards in the Mountain Area. *Remote Sens.* 15, 2023, 2239. <https://doi.org/10.3390/rs15092239>
- [22] Kachurin L., Bekryaev V., Psalomshchikov V., DAN, vol. 174, No. 5, 1122, 1967, (in Russian).
- [23] Kachurin L., Grigorov N., ZhFKh, vol. 51, No. 11, 2864, 1977, (in Russian)
- [24] Kachurin L., Grigorov N., Kuzin Yu., Psalomshchikov V., Stepanyuk I. Electromagnetic radiation of snow and ice during dynamic processes. *Dokl. USSR Academy of Sciences*, volume 248, number 3, 1979, 583–585. UDC 551.322 GEOPHYSICS (in Russian)
- [25] Yablokov M. <https://ours-nature.ru/b/book/17/page/5-lavini/159-lavini-podayut-signal> Avalanches give a signal (in Russian).
- [26] Marchetti E., Walter F., Meier L. Broadband infrasound signal of a collapsing hanging glacier. *Geophysical Research Letters*, 48, 2021. e2021GL093579. <https://doi.org/10.1029/2021GL093579>
- [27] Stepanyuk I., Smirnov V. *Methods for measuring the characteristics of the dynamics of the canopy cover*. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat, 2001, (in Russian)
- [28] Shibkov A., Zheltov M., Korolev A. Growing ice is a source of electromagnetic radiation. UDC 539.37:537.221. *Bulletin of TSU*, vol. 6, issue 2, 2001, (in Russian)
- [29] Kitov A., Denisenko I., Lunina O., Gladkov A., Plyusnin V., Ivanov E. Remote and georadar research of the Radde glacier of the Munku-Sardyk ridge (Eastern Sayan) Geoinformation support for sustainable development of territories. *Materials of the International. conf. M.: Moscow University Publishing House*, T. 21, Part 1, 2015, pp. 318–332 (in Russian)
- [30] Berikashvili V., Vasilenko E., Macheret Yu., Sokolov V. Monopulse radar for glacier sounding with an optical synchronization channel and digital signal processing. *Journal of Radio Electronics*, No. 4, 2004, (in Russian)
- [31] Bunkin A., Klinkov V., Lednev V., Pershin S., Yulmetov R. Remote sensing of polar waters with a compact lidar: Achievements and prospects. *RAS Proceedings of the Institute of General Physics named after. A.M. Prokhorova Volume 69*. UDC 535.243.3, 535.8, 504.7, 52.08, 556.082 (in Russian)
- [32] Gurulev A., Bordonsky G., Orlov A. Registration of autowaves of plastic flow in ice structures during radar measurements. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. T. 20, No. 3, 2023, pp. 222–229. DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-3-222-229 (in Russian)
- [33] Chernomorets S., Savernyuk E., Petrakov D., Dokukin M., Gotsiridze G., Gavardashvili G., Drobyshev V., Tutubalina O., Kolchin A., Zaporozhchenko E., Kamenev N., Kamenev V., Kaeb A., Kargel J., Huggel K. Ice-rock collapse and subsequent mudflow in the Devdoraki Gorge (Caucasus, Georgia) in 2014. – *Mudflows: disasters. risk. forecast. protection*. *Materials of the IV International Conference, Irkutsk*, 2016, p. 244-248, (in Russian)

- [34] Svalova V., Zaalishvili V., Ganapathy G., Nikolaev A., Melkov D. Landslide risk in mountain areas. *Geology of the South of Russia*. (in Russ.). 10 (2), 2019, 110-127.
- [35] Tielidze L., Kumladze R., Wheate R., Gamkrelidze M. The Devdoraki Glacier catastrophes, Georgian Caucasus. *Hungarian Geographical Bulletin* 68, 2019 (1), pp. 21–35. DOI: 10.15201/hungeobull.68.1.2

მთის მყინვარები და დისტანციური ზონდირება

ჩიხლაძე ვ., ვარამაშვილი ნ.

რეზიუმე

ნაშრომში წარმოდგენილია მთის მყინვარების დისტანციური ზონდირების თანამედროვე მეთოდების მოკლე მიმოხილვა. განხილულია ზოგიერთი მათგანის გამოყენების პერსპექტივები საქართველოში მყინვარების კოლაფსის ადრეული გაფრთხილებისთვის. მოყვანილია მყინვარების შემცირების ფაქტები.

საკვანძო სიტყვები: მყინვარები, მყინვარების დნობა, ელექტრომაგნიტური გამოსხივება, დისტანციური ზონდირება, ადრეული გაფრთხილება

MOUNTAIN GLACIERS AND REMOTE SENSING

Chikhladze V., Varamashvili N.

Abstract

The paper presents a brief review of modern methods of remote sensing of mountain glaciers. Prospects of using some of them for early warning of glacier collapse in Georgia are discussed. The facts of the reduction of glaciers are given.

Key words: glaciers, melting glaciers, electromagnetic radiation, remote sensing, early warning.

ГОРНЫЕ ЛЕДНИКИ И ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

Чихладзе В., Варамашвили Н.

Реферат

Представлен краткий обзор современных методов дистанционного зондирования горных ледников. Рассмотрен вопрос применения некоторых из них в Грузии для раннего предупреждения в случае коллапса ледников. Приведены факты сокращения некоторых из них

Ключевые слова: ледники, таяние ледников, электромагнитное излучение, дистанционное зондирование, раннее предупреждение

ბუნებრივი საშიშროებების მოვლენების ახალი პარამეტრული კატალოგები საქართველოსთვის

¹ვარაზანაშვილი ო., ²გაფრინდაშვილი გ., ⁴ელიზბარაშვილი ე.,
¹ამირანაშვილი ა., ⁴ზასილაშვილი ც., ⁵ფუქსი ს.

¹მიხეილ ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, ივანე ჯავახიშვილის სახელობის
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო

²გარემოს ეროვნული სააგენტოს გეოლოგიის დეპარტამენტი, თბილისი, საქართველო

³ვახუშტი ბაგრატიონის სახელობის გეოგრაფიის ინსტიტუტი, ივანე ჯავახიშვილის სახელობის
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო

⁴ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი,
თბილისი, საქართველო

⁵სამთო რისკების ინჟინერიის ინსტიტუტი, ბუნებრივი რესურსების და სიცოცხლის
მენეჯერების უნივერსიტეტი, ვენა, ავსტრია

otarivar@yahoo.com

შესავალი

საქართველოს რესპუბლიკის ბუნებრივი საშიშროებების მოვლენების პირველი მონაცემთა ბაზა (GeNHs) მოიცავს პარამეტრულ კატალოგებს ხუთი ტიპის ბუნებრივი საშიშროებების მოვლენების (მეწყერი, ღვარცოფი, წყალმოვარდნა, გრიგალური ქარი და სეტყვა), რომლებმაც გამოიწვია მნიშვნელოვანი ეკონომიკური ზარალი და მსხვერპლი საქართველოში ბოლო ათწლეულებისა და საუკუნეების განმავლობაში, შესაბამისად. ამ მოვლენების კატალოგების შედგენა ინოვაციურია, რადგან ფარავს მთელ ქვეყანას (ნახ. 1), დროულია და შეიძლება გამოყენებულ იქნას სამოქალაქო დაცვის ორგანოების, რისკების მენეჯერების და სხვა დაინტერესებული მხარეების მიერ ბუნებრივი საშიშროებების და რისკების მართვის, ასევე გადაწყვეტილების მიღებისთვის და ეფექტური და ქმედითი შემარბილებელი ღონისძიებების გატარებისთვის.

მონაცემთა ბაზაში შეტანილი მონაცემები შეგროვდა მათი ხარისხის მინიმალური მოთხოვნების საფუძველზე. მონაცემთა ხარისხი მოიცავდა ინფორმაციას მოვლენის ადგილის, დროისა და სიდიდის (მაგნიტუდა, ინტენსივობა) შესახებ თითოეული ტიპის საშიშროებისთვის. განხორციელდა მაგნიტუდური კლასიფიკაცია და შესაბამისი მონაცემების ჰარმონიზაცია. თითოეული ბუნებრივი საშიშროების ტიპისა და მოვლენისთვის შეგროვდა ძირითადი პარამეტრების (ნახ. 2) ყველაზე სანდო მნიშვნელობები, რომლებიც განისაზღვრა ხელმისაწვდომი ინფორმაციის სიმრავლიდან. ასეთი ინფორმაცია მოიცავდა მოვლენის მოხდენის თარიღს (წელი, თვე, დღე), მოვლენის მოხდენის დროს (საათი), მოხდენის

ნის ადგილს (გეოგრაფიული კოორდინატები), მაგნიტუდას და ინტენსივობას [1, 2, 3], და-
 ზიანების არეს და მასთან დაკავშირებულ დანაკარგებს (დაღუპულთა რაოდენობა; ეკონო-
 მიკური ზარალი).



ნახ. 1. საქართველოს ტერიტორიის რელიეფის რუკა.

Year	Month	Day	Hour	Lat	Long	Magnitude (M)	Intensiti	Damage area (sq. km)	Killed	Damage US\$ (1000's)	Comments	Sources
------	-------	-----	------	-----	------	---------------	-----------	----------------------	--------	----------------------	----------	---------

ნახ. 2. კატალოგების ძირითადი პარამეტრები.

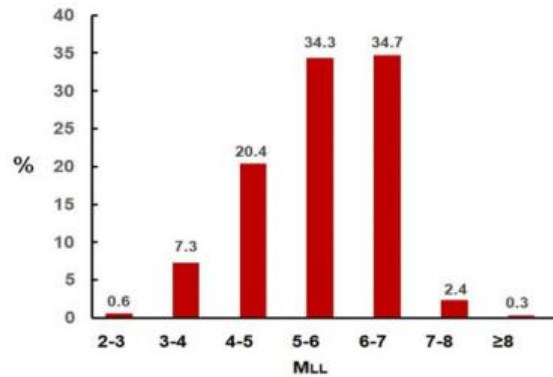
სხვადასხვა ბუნებრივი საშიშროების მოვლენების კატალოგებში შეგროვებული მონა-
 ცემების შემდგომი ინტერპრეტაციის, ანუ ბუნებრივი საშიშროებების კანონზომიერებების
 გამოკვლევის მიზნით განხორციელდა საქართველოს ტერიტორიის ზონირება ცალკეული
 ტიპის საშიშროებებისთვის. ამისთვის გამოყენებული იქნა უკვე არსებული შესაბამისი
 რუკები საქართველოსთვის.

შედეგები და დისკუსია

მეწყერული მოვლენები: მეწყერების კატალოგში (ნახ. 3) შეგროვდა 1900 წლიდან 2023
 წლამდე პერიოდისთვის, 1635 მოვლენა. მეწყერის მაგნიტუდად (M_{LL}) აღებულია მისი მოც-
 ულობის (m^3) ლოგარითმი. იგი ისაზღვრება მაგნიტუდურ დიაპაზონში 2.00-დან 8.70-მდე,
 ხოლო კატალოგში მეწყერების წარმომადგენლობა იწყება მაგნიტუდა $M_{LL}>5$ -დან (ნახ. 4).

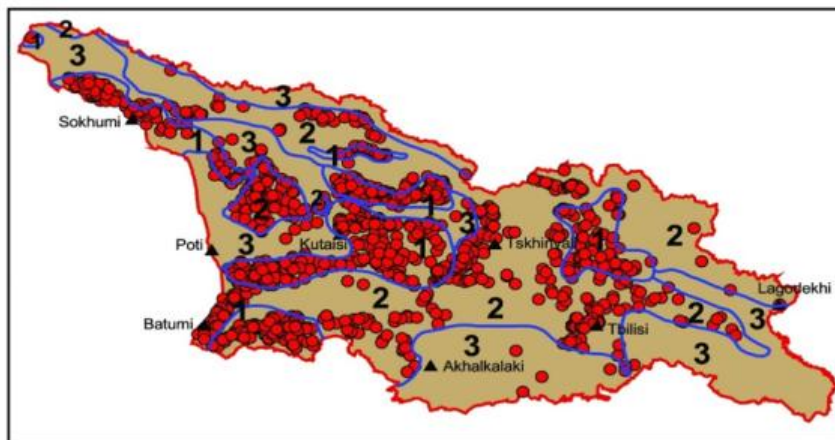
Year	Mont	Day	Hour	Lat	Long	Magnitude (M _L)	Intensity	Damage area (sq km)	Killed	Damage US\$ (000's)	Comments Nearby Settlement or geographical place	Sources
1900				42.27	42.07	5.48	5	0.200		272	Senaki	3
1930				42.53	41.93	5.65	5	0.300		92	Odishi	3
1940				42.26	43.17	6.30	5	0.500	3	99	Etseri	3
1960				42.12	43.24	3.78	3	0.006		84	Makatubani	4
1960				42.12	43.24	4.78	4	0.001		60	Makatubani	4
1960				42.42	42.39	4.90	4	0.040		12	Martvili	3
1961	09			43.14	40.62	4.00	4	0.019		17	Likhni	4
1961				43.23	40.46	4.48	4	0.052		32	Blaburkhva	4
1962				42.08	43.16	5.10	5	0.005		130	Dzirula	4

ნახ. 3. მეწყერების კატალოგის ფრაგმენტი.



ნახ. 4. მეწყერების კატალოგში MLL მაგნიტუდების განაწილების ჰისტოგრამა.

მეწყერების ზონების (ნახ. 5) გამოყოფა განხორციელდა საქართველოს მეწყერული საშიშროების დარაიონების რუკის ბაზაზე. თავის მხრივ ამ რუკის მომზადებაში გამოყენებულია სხვადასხვა წლებში ქვეყნის მასშტაბით დაფიქსირებული მეწყერების მონაცემები, მათი განმეორებადობა და მეწყერული მოვლენების მაპროვოცირებელი მუდმივმოქმედი და სწრაფად ცვალებადი ფაქტორები როგორცაა: ტერიტორიის გეოლოგიური აგებულება, ტექტონიკა, სეისმურობა, მორფოლოგიური (ფერდობების დახრილობა, ფერდობების ექსპოზიცია, სიმაღლითი გავრცელება, რელიეფის დანაწევრება და სხვა) და კლიმატური პირობები. ასევე გათვალისწინებულია მეწყერული მოვლენების განვითარების პოტენციალი და მოსახლეობისადმი და სხვადასხვა ინფრასტრუქტურული ობიექტებისადმი მიყენებული ზარალი [4].

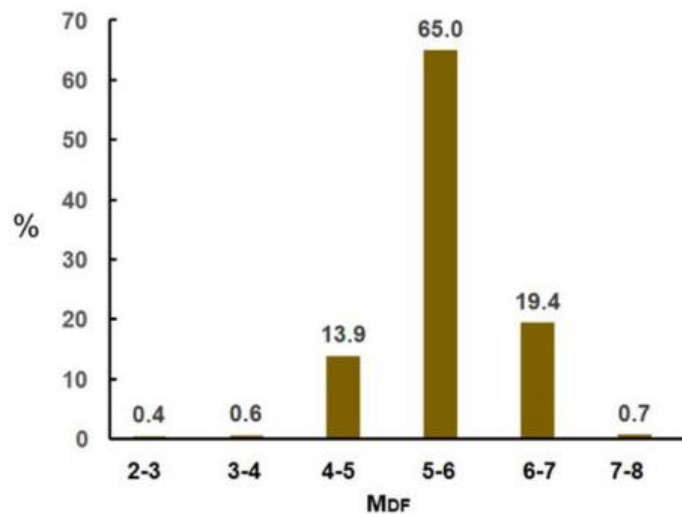


ნახ. 5. მეწყერული მოვლენები საქართველოში (1900-2022 წწ.) და მათი ზონირება.

ღვარცოფული მოვლენები: ღვარცოფების კატალოგში (ნახ. 6) შეგროვდა 1776 წლიდან და 2023 წლამდე პერიოდისთვის, 880 მოვლენა. ღვარცოფის მაგნიტუდად (M_{DF}) აღებულ იქნა ერთი მოვლენის დროს ღვარცოფული გამონატანის მაქსიმალური მოცულობის (m^3) ლოგარითმი. იგი ისაზღვრება მაგნიტუდურ დიაპაზონში 2.30-დან 7.40-მდე, ხოლო კატალოგში ღვარცოფების წარმომადგენლობა იწყება მაგნიტუდა $M_{DF}>5$ -დან (ნახ. 7).

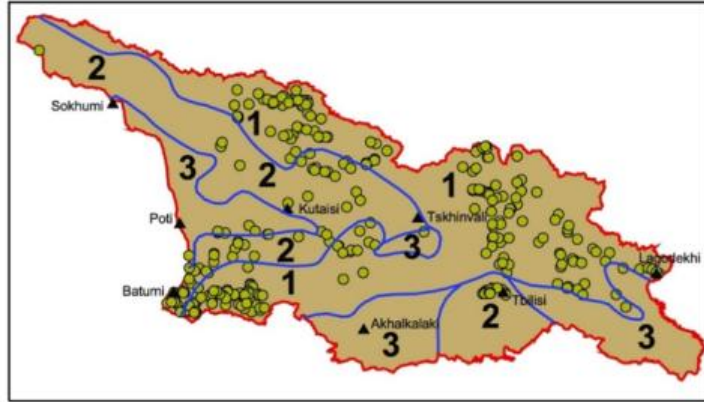
Year	Mont	Day	Hour	Lat	Long	Magnitude (M _{DF})	Intensity	Damage area (sq km)	Killed	Damage US\$ (000's)	Comments Nearby Settlements (Rivers)	Source
1776	08			42.73	44.63	6.74	5	1.10			Gveleti (Devdoraki-Amali)	1
1778				42.73	44.63	6.40	5	0.50			Gveleti (Devdoraki-Amali)	1
1785				42.73	44.63	6.30	5	0.40			Gveleti (Devdoraki-Amali)	1
1808				42.73	44.63	6.24	5	0.35			Gveleti (Devdoraki-Amali)	1
1817				42.73	44.63	6.51	5	0.64			Gveleti (Devdoraki-Amali)	1
1832	07			42.71	44.62	6.78	5	1.20	100	275	Gveleti (Devdoraki-Amali)	1
1886	11	03		42.29	43.28	6.00	3	0.20		186	Chiatura (Qvirila)	1
1893				41.75	45.32	6.83	4	1.34			Sagarejo (tvaltkhevi)	1
1894	08	08		42.01	43.20	6.08	3	1.50			Kharagauli (Chkherimela)	1

ნახ. 6. ღვარცოფების კატალოგის ფრაგმენტი.



ნახ. 7. ღვარცოფების კატალოგში M_{DF} მაგნიტუდების განაწილების ჰისტოგრამა.

ღვარცოფების ზონების (ნახ. 8) გამოყოფა განხორციელდა საქართველოს ღვარცოფული საშიშროების დარაიონების რუკის ბაზაზე. თავის მხრივ ამ რუკის მომზადებაში გამოყენებულია სხვადასხვა წლებში ქვეყნის მასშტაბით დაფიქსირებული მოვლენების მონაცემები, ღვარცოფების შემადგენლობის ტიპის, მათი სიხშირის, ღვარცოფული მასალის ერთჯერადი გამონატანის მოცულობის და ღვარცოფული მოვლენების მაპროვოცირებელი მუდმივმოქმედი და სწრაფად ცვალებადი ფაქტორები როგორცაა – ტერიტორიის გეოლოგიური აგებულება, ტექტონიკა, ღვარცოფული წყალსადინარის მორფოლოგიური (ფერდობების დახრილობა, ფერდობების ექსპოზიცია, სიმაღლითი გავრცელება, რელიეფის დანაწევრება და სხვა) და კლიმატური პირობები. ასევე გათვალისწინებულია პროცესის გააქტიურების პოტენციალი და მოსახლეობისადმი და სხვადასხვა ინფრასტრუქტურული ობიექტებისადმი მიყენებული ზარალი [4].

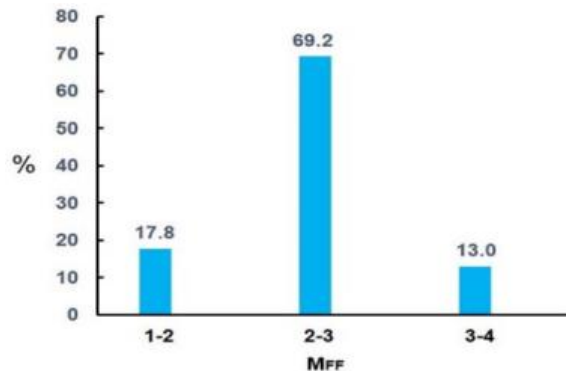


ნახ. 8. ღვარცოფული მოვლენები საქართველოში (1900-2022 წწ.) და მათი ზონირება.

წყალმოვარდნების მოვლენები: წყალმოვარდნების კატალოგში (ნახ. 9) შეგროვდა 735 წლიდან და 2022 წლამდე პერიოდისთვის, 1098 მოვლენა. წყალმოვარდნის მაგნიტუდად (M_{DF}) აღებულ იქნა წყლის მაქსიმალური ხარჯის (მ³/წმ) ლოგარითმი. იგი ისაზღვრება მაგნიტუდურ დიაპაზონში 1.06-დან 3.78-მდე, ხოლო კატალოგში წყალმოვარდნების წარმომადგენლობა იწყება მაგნიტუდა $M_{DF} > 2.5$ -დან (ნახ. 10).

Year	Month	Day	Hour	Lat	Long	Magnitude (M_{DF})	Intensity	Damage area (sq km)	Killed	Damage (US\$ (1000's))	Comments Stations (Rivers)	Source
0735				42.30	42.10	3.26	4	300			River mouth (Tekhuri)	1
0738				42.13	42.30	3.30	4	320			River mouth (Tskhenistsqali)	1
0738				42.23	42.17	3.04	4	280	23000		River mouth (Abasha)	1
1651	08	11		41.72	44.79	(1.90)	3	(300)			Tbilisi (Vere, Krtsanisiskhevi, Tsavkisiskhevi, Avanaantkhevi, Gabanaantkhevi, Varaziskhevi)	35
1832	08	20		42.73	44.62	(3.66)	4	(600)			Gveleti (Tergi)	18
1839	05	29		41.70	44.83	3.36	4	30			Tbilisi (Mtkvari)	2, 7
1842				42.27	42.70	3.08	4	40			Kutaisi (Rioni)	3
1853	07	25		41.70	44.83	3.25	2	50			Tbilisi (Mtkvari)	2
1858	08	28		41.70	44.83	3.34	4	120	13		Tbilisi (Mtkvari)	2

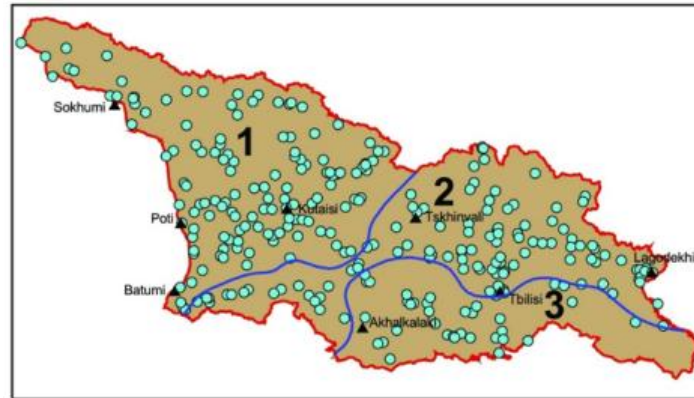
ნახ. 9. წყალმოვარდნების კატალოგის ფრაგმენტი.



ნახ. 10. წყალმოვარდნების კატალოგში M_{DF} მაგნიტუდების განაწილების ჰისტოგრამა.

წყალმოვარდნების ზონების (ნახ. 11) გამოყოფა განხორციელდა ძირითადად საქართველოს მდინარეთა აუზების მკვებავი ნოტიო ჰაერის მასების გადაადგილების მიმართულებისა და ზემოქმედების ინტენსივობის მიხედვით, აგრეთვე მდინარეთა წყლის ჩამონა-

დენისა და მათი რეჟიმის თავისებურებით (აუზების ზედაპირის ხასიათი და ვერტიკალური ზონალობა, რელიეფი, კლიმატური პირობები და სხვა) [5].

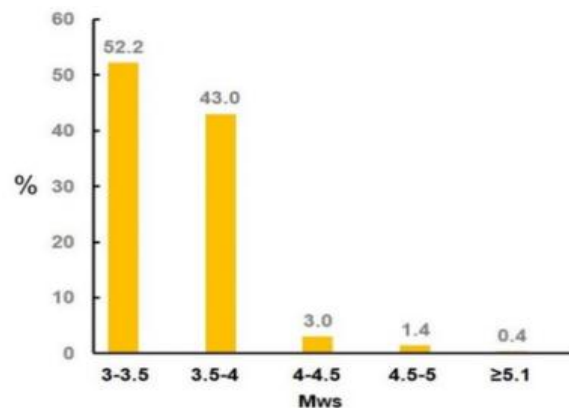


ნახ. 11. წყალმოვარდნების მოვლენები საქართველოში (1900-2022 წწ.) და მათი ზონირება.

გრიგალური ქარების მოვლენები: გრიგალური ქარების კატალოგში (ნახ. 12) შეგროვდა 1946 წლიდან 2023 წლამდე პერიოდისთვის, 1563 მოვლენა. გრიგალური ქარის მაგნიტუდად (M_{ws}) აღებულ იქნა ქარის სიჩქარე (მ/წმ) გაყოფილი 10-ზე. იგი ისაზღვრება მაგნიტუდურ დიაპაზონში 3.00-დან 5.60-მდე, ხოლო კატალოგში გრიგალური ქარების წარმომადგენლობა იწყება მაგნიტუდა $M_{ws}>3.5$ -დან (ნახ. 13).

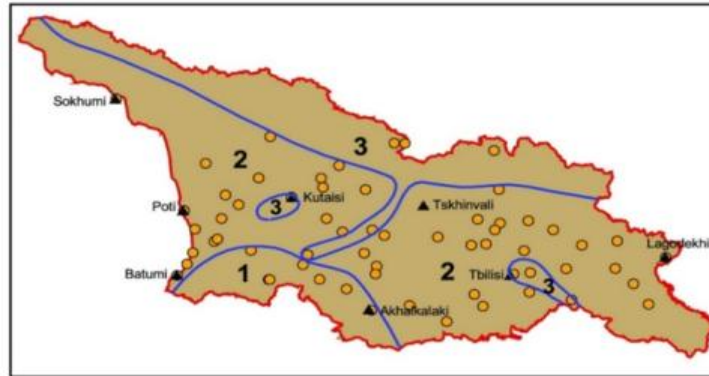
Year	Month	Day	Hour	Lat	Long	Magnitude (Mws)	Intensiti	Damage area (sq. km)	Killed	Damage US\$ (1000's)	Comments Maximal-affected geographic point (Other affected geographic point)	Source
1946	06	30		42.20	42.20	3.5	2	900		201	Abasha (Khoni)	4
1946	07	02		42.20	42.20	3.5	2	900		300	Abasha (Khoni)	4
1959	02	05		42.14	41.68	4.0	2	1500			Poti (Sokhumi, Gagra, Ochamchire)	4
1959	02	06		42.14	41.68	4.0	2	1500		100	Poti (Sokhumi, Gagra, Ochamchire)	4
1961	01	18		41.63	42.52	4.0	2	900			Goderdzi pass	1
1961	01	22		41.63	42.52	3.4	1	900			Goderdzi pass	1
1961	01	26		41.63	42.52	4.0	2	900			Goderdzi pass	1
1961	01	27		41.63	42.52	3.4	1	900			Goderdzi pass	1
1961	02	17		42.70	43.78	3.4	1	900			Mamisoni pass	1

ნახ. 12. გრიგალური ქარების კატალოგის ფრაგმენტი.



ნახ. 13. გრიგალური ქარების კატალოგში M_{ws} მაგნიტუდების განაწილების ჰისტოგრამა.

გრიგალური ქარების ზონების (ნახ. 14) გამოყოფა ჩატარდა ქარის რეჟიმული მახასიათებლების (სიჩქარე, განმეორებადობა, მაქსიმალური სიჩქარეების საერთო ფონი) საფუძველზე რელიეფის და გეოგრაფიული პუნქტის ადგილმდებარეობის გათვალისწინებით [6].

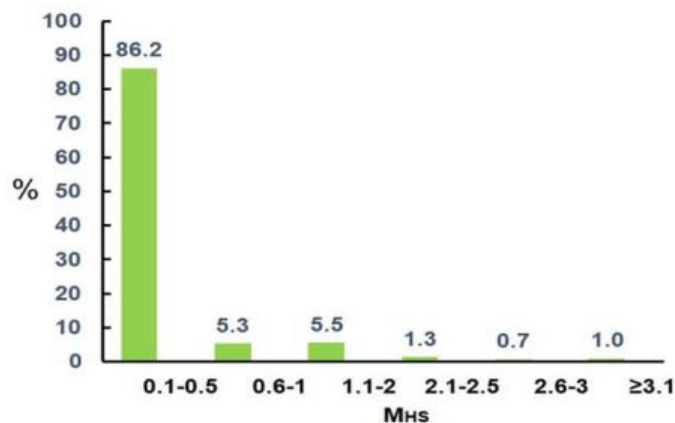


ნახ. 14. გრიგალური ქარების მოვლენები საქართველოში (1900-2022 წწ.) და მათი ზონირება.

სეტყვის მოვლენები: სეტყვის კატალოგში (ნახ. 15) შეგროვდა 1891 წლიდან 2023 წლამდე პერიოდისთვის, 2186 მოვლენა. სეტყვის მაგნიტუდად (M_{HS}) აღებულ იქნა სეტყვის მარცვლის ზომა (მმ) გაყოფილი 10-ზე. იგი ისაზღვრება მაგნიტუდურ დიაპაზონში 0.10-დან 12-მდე, ხოლო კატალოგში სეტყვის წარმომადგენლობა იწყება მაგნიტუდა $M_{HS} > 1.0$ -დან (ნახ. 16).

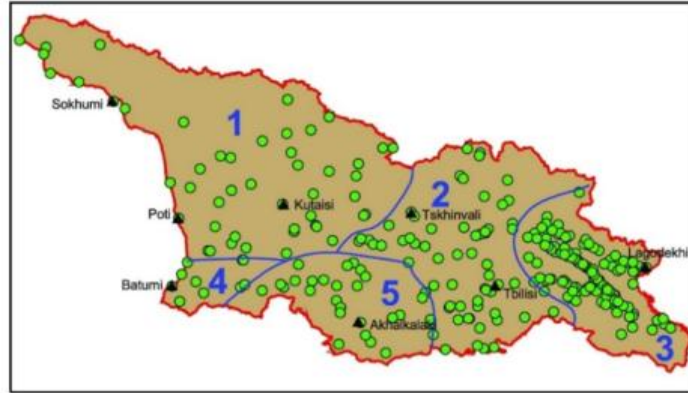
Year	Month	Day	Hour	Lat	Long	Magnitude (M_{HS})	Intensity	Damage area (sq. km)	Killed	Damage US \$ (1000's)	Comments Maximal-affected geographic point (Other affected geographic point)	Source
1891				41.70	44.83	0.5	2	2		246	Tbilisi	3
1891				41.71	42.84	0.5	4	13		1968	Abastumani	3
1892				42.12	43.03	0.5	2	5		738	Kveda Sakara	3
1892				41.71	42.84	0.5	3	7		984	Abastumani	3
1892				42.48	44.48	0.5	4	18		2706	Gudauri	3
1893				42.12	43.03	0.5	2	2		246	Kveda Sakara	3
1893				41.71	42.84	0.5	2	3		492	Abastumani	3
1893				41.70	44.83	0.5	2	5		738	Tbilisi	3
1893				42.48	44.48	0.5	4	23		3444	Gudauri	3

ნახ. 15. სეტყვის კატალოგის ფრაგმენტი.



ნახ. 16. სეტყვის კატალოგში M_{HS} მაგნიტუდების განაწილების ჰისტოგრამა.

სეტყვის ზონების (ნახ. 17) გამოყოფა განხორციელდა ძირითადად საქართველოს კლიმატის კლასიფიკაციის რუკის (ვ. კეპენის მიხედვით) ბაზაზე, რომელიც ძირითადად ეფუძნება კონცეფციას, რომ კლიმატის ტიპის საუკეთესო კრიტერიუმი არის ის, თუ რა მცენარეები იზრდება ბუნებრივად მოცემულ ტერიტორიაზე [7].



ნახ. 17. სეტყვის მოვლენები საქართველოში (1900-2022 წწ.) და მათი ზონირება.

დასკვნები

ეს მონაცემთა ბაზა (ნახ. 18) უზრუნველყოფს საკვანძო ინფორმაციას ბუნებრივი საშიშროებებისა და რისკების შეფასების შემდგომი გაუმჯობესებისთვის, ასეთი საშიშროებების რეალიზაციის შედეგად გამოწვეული ადამიანური დანაკარგებისა და ეკონომიკური ზარალის, კლიმატის ცვლილების შესაძლო შედეგების, ასევე პროგნოზირებისა და ადრეული შეტყობინების ახალი ძალისხმევის შესაფასებლად. GeNHs მონაცემთა ბაზა ხელმისაწვდომია ონლაინ (იხ. <http://109.205.44.60/handle/123456789/10369>) და განახლდება მომავალში [3].

5: Types Natural Hazards in Georgia Database

Natural Hazards Database in Georgia

Flash Flood

First year: 1900, Last year: 2007, First month: 1, Last month: 12, First day: 1, Last day: 31

SELECT

Year	Month	Day	Hour	Lat	Long	Magnitude (Mrr)	Intensity	Damage area (sq km)	Killed	Damage US\$ (1000's)	Comments Stations (Rivers)	Source
0735				42.30	42.10	3.26	4	300			River mouth (Tekhuri)	1
0738				42.13	42.30	3.30	4	320			River mouth (Tskhenistsqali)	1
0738				42.23	42.17	3.04	4	280	23000		River mouth (Abasha)	1
1651	08	11		41.72	44.79	(1.90)	3	(300)			Tbilisi (Vere, Krtsanisiskhevi, Tsavkisiskhevi, Avanaantkhevi, Gabanaantkhevi, Varaziskhevi)	35
1832	08	20		42.73	44.62	(3.66)	4	(600)			Gveleti (Tergi)	18
1839	05	29		41.70	44.83	3.36	4	30			Tbilisi (Mtkvari)	2, 7
1842				42.27	42.70	3.08	4	40			Kutaisi (Rioni)	3
1853	07	25		41.70	44.83	3.25	2	50			Tbilisi (Mtkvari)	2
1858	08	28		41.70	44.83	3.34	4	120	13		Tbilisi (Mtkvari)	2

ნახ. 18. GeNHs მონაცემთა ბაზის საძიებო სისტემის სახე.

კატალოგების სრული ვერსია გამოქვეყნებულია PDF ფაილის სახით [8]. 2023 წელს კატალოგების მონაცემები [8] გამოყენებული იქნა ნაშრომებში [9-15] და მონოგრაფიაში [16].

მადლობები

ავტორები მადლიერნი არიან შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის, საგრანტო პროექტი № FR-21-1808, რომლის ფარგლებშიც შესრულდა წარმოდგენილი ნაშრომი.

ლიტერატურა – References – Литература

- [1] Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Arevadze N., Gventsadze A. Vulnerability, Hazards and Multiple Risk Assessment for Georgia. *J. Natural Hazards*, vol. 64, Issue 3, 2012, 2021-2056. DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3
- [2] Varazanashvili O., Gaprindashvili G., Elizbarashvili E., Basilashvili Ts., Amiranashvili A. Principles of Natural Hazards Catalogs Compiling and Magnitude Classification. *Journal of the Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, e-ISSN:2667-9973, p-ISSN:1512-1127, vol. 25 (1), 2022, pp. 5-11. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2520224794>
- [3] Gaprindashvili G., Varazanashvili O., Elizbarashvili E., Basilashvili T., Amiranashvili A., Fuchs S. GeNHs: The First Natural Hazard Event Database for the Republic of Georgia, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-1614, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-1614>.
- [4] Gaprindashvili M., Tsereteli E., Gaprindashvili G., Kurtsikidze O. Landslide and Mudflow Hazard Assessment in Georgia. *Building Knowledge for Geohazard Assessment and Management in the Caucasus and other Orogenic Regions* (eds. F. L. Bonali, F. P. Mariotto, N.Tsereteli). Springer. Part of the NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security book series (NAPSC). Chapter 14, 2021, pp. 265-279.
- [5] Basilashvili Ts. Territorial Zonality by Annual Runoff. *National Atlas of Georgia*. Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 2018, pp. 62.
- [6] Climate and Climatic Resources of Georgia. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1971, 383 p.
- [7] Beck H.E., Zimmermann N.E., McVicar T.R., Vergopolan N., Berg A., Wood E.F. Present and Future Köppen-Geiger Climate Classification Maps at 1-km Resolution. *Scientific Data*, 2018, 5:180214, doi:10.1038/sdata.2018.214.
- [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] Amiranashvili A., Basilashvili Ts., Elizbarashvili E., Varazanashvili O. Catastrophic Floods in the Vicinity of Tbilisi. *Transactions IHM, GTU*, ISSN: 1512-0902, vol.133, 2023, pp. 56-61, (in Georgian), doi.org/10.36073/1512-0902-2023-133-56-61; <http://openlibrary.ge/bitstream/123456789/10337/1/133-11.pdf>
- [10] Amiranashvili A., Elizbarashvili E., Varazanashvili O., Pipia M. Statistical Analysis of the Number of Days with Hail During the warm Season in Tbilisi in 1891-2021. *Transactions IHM, GTU*, ISSN: 1512-0902, vol.133, 2023, pp.74-77, (in Georgian), doi.org/10.36073/1512-0902-2023-133-74-77; <http://openlibrary.ge/bitstream/123456789/10340/1/133-14.pdf>
- [11] Amiranashvili A., Bolashvili N., Elizbarashvili E., Liparteliani G., Suknidze N., Tsirgvava G., Varazanashvili O. Statistical Analysis of the Number of Days with Hail and Damage to Agricultural Crops from it in Kvemo Kartli (Georgia). *Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes"*. Proceedings, ISBN 978-9941-36-147-0, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, 2023, pp. 133-137. <http://www.openlibrary.ge/handle/123456789/10419>
- [12] Amiranashvili A., Elizbarashvili E., Pipia M., Varazanashvili O. Expected Changes of the Number of Days with Hail in Tbilisi to 2085. *Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes"*. Proceedings, ISBN 978-9941-36-147-0, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, 2023, pp. 138-142. <http://www.openlibrary.ge/handle/123456789/10420>
- [13] Varazanashvili O., Gaprindashvili G., Elizbarashvili E., Amiranashvili A., Basilashvili Ts., Fuchs S. New Natural Hazard Event Database for the Republic of Georgia (GeNHs): Catalogs Compiling Principles and Results. *Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes"*. Proceedings, ISBN 978-9941-36-147-0, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, 2023, pp. 185-187, (in Georgian). http://109.205.44.60/bitstream/123456789/10431/1/44_IG_90.pdf

- [14] Elizbarashvili E., Varazanashvili O., Lagidze L., Pipia M., Chikhladze V. About Strong Winds in Kakheti Region. Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes". Proceedings, ISBN 978-9941-36-147-0, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, 2023, pp. 156-160, (in Georgian). <http://www.openlibrary.ge/handle/123456789/10424>
- [15] Basilashvili Ts. Spatio-Temporal Development of Floods of Georgian Rivers. Int. Sc. Conf. "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes". Proceedings, ISBN 978-9941-36-147-0, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, November 16-17, 2023, pp. 90-93, (in Georgian). <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10408>
- [16] Kartvelishvili L., Tatishvili M., Amiranashvili A., Megrelidze L., Kutaladze N. Weather, Climate and their Change Regularities for the Conditions of Georgia. Monograph, Publishing House "UNIVERSAL", ISBN: 978-9941-33-465-8, Tbilisi 2023, 406 p., <https://doi.org/10.52340/mng.9789941334658>

**ბუნებრივი საშიშროებების მოვლენების ახალი პარამეტრული
კატალოგები საქართველოსთვის**

ვარაზანაშვილი ო., გაფრინდაშვილი გ., ელიზბარაშვილი ე., ამირანაშვილი ა.,
ბასილაშვილი ც., ფუქსი ს.

რეზიუმე

წარმოდგენილია საქართველოს რესპუბლიკის ბუნებრივი საშიშროებების მოვლენების ახალი მონაცემთა ბაზა და ნაჩვენებია შეგროვებული მონაცემების ინტერპრეტაციისათვის აუცილებელი ზონირების შედეგები.

საკვანძო სიტყვები: ბუნებრივი საშიშროება, მეწყერი, ღვარცოფი, წყალმოვარდნა, გრიგალური ქარი, სეტყვა.

NEW PARAMETRIC CATALOGS OF NATURAL HAZARD EVENTS FOR GEORGIA

**Varazanashvili O., Gaprindashvili G., Elizbarashvili E., Amiranashvili A.,
Basilashvili Ts., Fuchs S.**

Abstract

New database of natural hazard events for the Republic of Georgia is presented and the results of zoning necessary for interpreting the compiled data are shown.

Key words: natural hazard, landslide, flood, water fall, gale force wind, hail.

**НОВЫЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ КАТАЛОГИ ОПАСНЫХ
ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ ДЛЯ ГРУЗИИ**

**Варазанашвили О., Гаприндашвили Г., Элизбарашвили Э., Амيرانашвили А.,
Басилавши Ц., Фукс С.**

Реферат

Представлена новая база данных опасных природных явлений для Республики Грузия и показаны результаты районирования, необходимые для интерпретации собранных данных.

Ключевые слова: природная опасность, оползень, наводнение, водопад, ураганный ветер, град.

საქართველოში სეტყვასაწინააღმდეგო სამუშაოების შედეგები 2016-2022 წლებში

^{1,2}კაჭარავა გ., ^{1,2}ბერულავა ნ., ^{2,3}მოდრეკელიძე მ., ¹კვეციანი ე., ¹გელოვანი გ.

¹სახელმწიფო სამხედრო სამეცნიერო – ტექნიკური ცენტრი „დელტა“, თბილისი, საქართველო
²ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო

³გარემოს ეროვნული სააგენტო
giorgi.katcharava301@ens.tsu.edu.ge

შესავალი

ატმოსფერულ მოვლენებზე აქტიური ზემოქმედება, ჩვენი ქვეყნისთვის, პრაქტიკული კუთხით, ძალიან მნიშვნელოვანია.

1961 წლიდან საქართველოში შეიქმნა სეტყვასთან ბრძოლის სამსახური, რასაც წინ უძღოდა თითქმის ათწლიანი კვლევები სეტყვასაშიში პროცესებისა და სეტყვისგან დაცვის შესაძლო ღონისძიებათა შესახებ. საბჭოთა კავშირის დაშლამ გამოიწვია ზემოთ ხსენებული სამსახურის გაუქმება [1-4,8,13].

2015 წელს სახელმწიფო სამხედრო სამეცნიერო ტექნიკური ცენტრის „დელტა“-ს ბაზაზე შეიქმნა სეტყვის საწინააღმდეგო სისტემების მართვის სამმართველო [6-7]. მისი მუშაობა ეფუძნება მეთოდებს [8]. აღსანიშნავია, რომ ჩვენ ვმუშაობთ ორიგინალური, სრულიად კომპიუტერიზებული სარაკეტო სისტემით, მეტეოინფორმაციის მისაღებად გამოიყენება თანამედროვე გერმანული წარმოების მაღალტექნოლოგიური მეტეოროლოგიური რადიოლოკატორი, METEOR 735 CDP 10-Doppler Weather Radar, რომელიც ამომწურავ და დეტალურ ინფორმაციას გვაწვდის ღრუბლების პარამეტრების შესახებ [2,6,7]. ამჟამად სახელმძღვანელო დოკუმენტად გამოიყენება: „სეტყვის საწინააღმდეგო სისტემების დეპარტამენტის ბუნებრივ მოვლენებზე ზემოქმედების სამმართველო სახელმძღვანელო დოკუმენტი, 2022“

რეგულარულად ტარდებოდა განახლებული სეტყვასაწინააღმდეგო სამსახურის მუშაობის შედეგების განხილვა და ანალიზი. 2015-2022 წწ. კვლევების შედეგები გამოქვეყნებულია ნაშრომებში [5,9-12,14]. ეს სამუშაო წარმოადგენს წინა წლებში ჩატარებული კვლევების გაგრძელებას.

შედეგები

XX საუკუნის 60-იანი წლებიდან, სეტყვის საწინააღმდეგო სამსახურის ამოქმედებისას, მის ამოქმედებამდე პერიოდთან შედარებით, საერთო ზარალის მოცულობა კახეთის რეგიონში შემცირდა დაახლოებით 70-80%-ით.

ცხრილი 1. ჩატარებული ზემოქმედების დღეთა რაოდენობა

თვე	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
აპრილი	2	4	1	7	1	8	7
მაისი	10	20	10	16	10	11	11
ივნისი	15	17	12	10	11	11	19
ივლისი	4	9	10	9	12	15	4
აგვისტო	0	1	4	3	8	7	1
სექტემბერი	6	5	3	4	4	4	5
ოქტომბერი	2	0	0	1	0	1	0
ჯამი	39	56	40	50	46	57	47
საშუალო	47						

წარმოდგენილ სტატიაში ჩვენ შევეცადეთ გავვეკეთებინა 2016-2022 წლების მონაცემების სისტემატიზირება, შეჯამება და შედარებითი ანალიზი. აგრეთვე, შედარებისთვის, ავიღეთ 80-იანი წლების რამდენიმე მონაცემი. საშუალოდ 2016-2022 წლებში სეზონზე იყო 47 დღე, როდესაც საჭირო გახდა სეტვასაშიშ ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედება. ამასთან ასეთი დღეების მინიმალური რაოდენობა დაფიქსირდა 2016 წელს (39 დღე), მაქსიმალური 2021 წელს (57 დღე).

ცხრილი 2. დამუშავებული კერების რაოდენობა

თვე	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
აპრილი	0	27	12	16	2	49	19
მაისი	31	108	72	59	42	38	55
ივნისი	75	79	72	34	59	59	127
ივლისი	12	28	21	39	51	70	8
აგვისტო	0	9	14	4	33	25	1
სექტემბერი	44	23	9	12	13	11	17
ოქტომბერი	6	0	0	2	0	2	0
ჯამი	168	274	200	166	200	254	227
საშუალო	212						

დამუშავებული კონვექტიური უჯრედების (კუ) რაოდენობა 2016-2022 წლებში, საშუალოდ შეადგენდა 212, ამასთან ყველაზე ნაკლები (166 კუ) დასამუშავებელი კონვექტიური უჯრედი დაფიქსირდა 2019 წელს, ხოლო ყველაზე მეტი – 2017 წელს (274 კუ).

2016-2022 წლებში, დაზიანების სხვადასხვა პროცენტით საშუალოდ ზიანდებოდა 7039 ჰა ფართობი(დაცული ტერიტორიის დაახლოებით 1,24%), ხოლო 100%-ზე დაყვანით-3347 ჰა. (რაც დასაცავი ტერიტორიის 0,6 %-ს შეადგენს).

**ცხრილი 3. დაზიანებული ფართობი. საერთო დაზიანებული ფართობები (ზედა სვეტი),
დაზიანების 100%-ზე დაყვანილი მონაცემები (ქვედა სვეტი).**

თვე	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
აპრილი	300	0	0	1290	0	915	820
	60	0	0	612	0	340	112
მაისი	4723	4965	860	4721	747	1040	0
	2503	1922	357	1470	273	530	0
ივნისი	1398	3125	1361	220	909	1306	2549
	671	1376	495	54	413	813	1258
ივლისი	1987	496	0	1455	5682	0	0
	777	106	0	521	2955	0	0
აგვისტო	0	0	1220	0	683	4615	0
	0	0	842	0	297	3924	0
სექტემბერი	60	338	794	230	147	315	0
	28	104	345	33	59	179	0
ოქტომბერი	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0
ჯამი	8468	8924	4235	7916	8168	8191	3369
	4039	3508	2039	2690	3997	5786	1370
საშუალო	7039/3347						

დასაცავი ტერიტორიების საერთო ფართობი 2017 წლის მონაცემებით შეადგენდა 568000 ჰა-ს, მათ შორის სასოფლო-სამეურნეო-სავარგულების ფართობია 258000 ჰა. (მთლიანი ფართობის 45%), სათიბ-სამოვრების საერთო ფართობი კი 309000 ჰა, რაც საერთო ფართობის 55%-ია. დასაცავ ტერიტორიაზე დაფიქსირდა მყარი ნალექის (სეტყვა, ხორხოშელა) და თანმხვედრი მოვლენების (ქარიშხალი, ძლიერი თქეში) მოსვლის 14 შემთხვევა. სტიქიისგან დაზიანებულმა სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების საერთო ფართობმა შეადგინა 8924 ჰა დაზიანების სხვადასხვა პროცენტით. დაზიანების 100%-ზე დაყვანილი ფართობია 3508 ჰა-ს, რაც შეადგენს სავარგულების საერთო ფართობის (სათიბ-სამოვრებთან ერთად) 1,6%-ს, ხოლო სათიბ-სამოვრების გარეშე 3,4%-ს.

დასაცავი ტერიტორიების საერთო ფართობი 2018 წლის მონაცემებით შეადგენდა 568000 ჰა-ს (სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების ფართობი 257005 ჰა, რაც დასაცავი ტერიტორიის 45,4%-ია), სათიბ-სამოვრების საერთო ფართობი იყო 308780 ჰა, რაც საერთო ფართობის 54,6%-ია. 6 ადმინისტრაციულ ერთეულში დაფიქსირდა მყარი ნალექის (სეტყვა, ხორხოშელა) მოსვლის 11 შემთხვევა. სტიქიისგან დაზიანებულმა სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების საერთო ფართობმა შეადგინა 4360 ჰა დაზიანების სხვადასხვა პროცენტით,

რაც შეადგენს დასაცავი ტერიტორიის მთლიანი ფართობის 0.8%-ს, ხოლო სასოფლო სამეურნეო სავარგულების 1,7%-ს. დაზიანების 100%-ზე დაყვანილი ფართობია 2039 ჰა-ს, რაც შეადგენს დასაცავი ტერიტორიის მთლიანი ფართობის 0.4%-ს, ხოლო სავარგულების მთლიანი ფართობის 0.8%-ს.

2019 წლის მონაცემებით დასაცავი ტერიტორიის საერთო ფართობი შეადგენდა 570000ჰა-ს. მათ შორის სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების ფართობი 268000 ჰა, რაც საერთო ფართობის 47%-ია ხოლო, სათიბ-საძოვრები კი შეადგენდა 301600 ჰა-ს (53%). დასაცავი ტერიტორიის ყველა(ახმეტა, თელავი, ყვარელი, ლაგოდეხი, საგარეჯო, გურჯაანი, სიღნაღი და დედოფლისწყარო) ადმინისტრაციულ ერთეულში აღინიშნა მყარი ნალექი. მთლიანობაში 53-ჯერ საჭირო გახდა აქტიური ზემოქმედების ჩატარება (ჯამში დამუშავდა 174 კუ). 10-ჯერ დაფიქსირდა სეტყვის მოსვლა, 43 შემთხვევაში სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები არ დაზიანებულა. 10 შემთხვევაში კი 7 მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე დაზიანდა 7916 ჰა, სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების დაზიანების სხვადასხვა პროცენტით, დაზიანების 100%-ზე დაყვანილი ფართობი შეადგენდა 2690 ჰა-ს.

2016-2022 წლებში საშუალოდ წელიწადში იყო 47 სეტყვიანი დღე, აქედან 10,4 შემთხვევაში დაფიქსირდა სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების ნათესების, ბალ-ვენახების და ა.შ. სეტყვისგან დაზიანება.

ცხრილი 4. 2016-2022 წლების დაზიანებული ფართობების სტატისტიკური მონაცემები. საერთო დაზიანებული ფართობები (ზედა სვეტი), დაზიანების 100%-ზე დაყვანილი მონაცემები (ქვედა სვეტი).

თვე	საშუალო	სტანდარტული გადახრა	სტანდარტული ცდომილება	ვარიაციის კოეფიციენტი, %
აპრილი	475	530	216	112
	161	233	95	145
მაისი	2437	2239	914	92
	1008	957	391	95
ივნისი	1553	981	401	63
	726	469	191	65
ივლისი	1374	2057	840	150
	623	1073	438	172
აგვისტო	931	1692	691	182
	723	1445	590	200
სექტემბერი	269	263	107	98
	107	121	49	113
ოქტომბერი	0	0	0	-
	0	0	0	-

ცხრილ 4 მოყვანილია 2016-2022 წლის დაზიანებული ფართობების სტატისტიკური მონაცემები.

კერძოდ როგორც ცხრილი 4 ჩანს ყველაზე დიდი ზიანი მოცემული იყო მაისის თვეში (საერთო ფართობი 2437 ჰა, ხოლო 100%-ზე დაყვანილი მონაცემებით-1008 ჰა.) ყველაზე მცირე ზიანი საშუალოდ მოცემული იყო სექტემბრის თვეში (საერთო ფართობი 269 ჰა, ხოლო 100%-ზე დაყვანილი მონაცემებით-107 ჰა.)

დასკვნა

კვლევის შედეგებით მიღებული დასკვნები ბუნებრივად შეიცავს გარკვეულ რეკომენდაციებსაც.

სეტყვის საწინააღმდეგო სისტემების ეფექტიანობის გასაუმჯობესებლად საჭიროა მთელი რიგი ღონისძიებების ჩატარება:

1. მეტეოროლოგიური რადიოლოკატორის დამატება, რომელიც მოხსნის არსებული რადარის თავზე ე.წ. „მკვდარი ზონის“ არსებობას. ასევე მოგვცემს სეზონის განმავლობაში არსებული რადარის გადატვირთვის საშუალებას. ე.ი. ჩავატარებთ პროფილაქტიკურ სამუშაოებს, რაც მნიშვნელოვნად გაზრდის მის ექსპლუატაციის ვადას.
2. განსხვავებული პარამეტრების მქონე რაკეტების შესყიდვა, რომელიც თავისი მახასიათებლებით ორჯერ (ზოგიერთ კომპონენტებში 3-ჯერ) აღემატება არსებულს.
3. დანადგარების რაოდენობის გაზრდა, რადგან სრულფასოვნად დაიფაროს დასაცავი ტერიტორია და შეიქმნას ე.წ. „ბუფერული ზონა“ (დასაცავ ტერიტორიაზე შემოსვლამდე, სეტყვასაშიში ღრუბლების წინასწარი დამუშავება, რათა თავიდან ავიცილოთ მათი გაძლიერება); ამასთან ახალი ტიპის რაკეტებისთვის საჭიროა შესაბამისი ტიპის დანადგარები, არსებული დანადგარების მოდერნიზაცია.
4. ეტაპობრივად გადავიდეთ ოპტიკურ-ბოჭკოვან კავშირზე, რაც უზრუნველყოფს კავშირთან დაკავშირებული არსებული ხარვეზების აღმოფხვრას.
5. სამეცნიერო საქმიანობის გაძლიერება: სტატიების, მონოგრაფიების და ა.შ. გამოცემა, კონფერენციებში, სიმპოზიუმებში და ა.შ. მონაწილეობის მიღება. ჩვენი ორიგინალური სეტყვასაწინააღმდეგო სისტემის საერთაშორისო დონეზე პოპულარიზაცია, მეთოდის დახვეწა. იმ ქვეყნებში, სადაც შექმნილია სეტყვასაწინააღმდეგო სამსახური, მოხდეს კადრების გაცვლით პროგრამაში ჩართვა, რათა ერთმანეთს გავუზიაროთ გამოცდილება და გავაუმჯობესოთ მუშაობა. ამასთან აუცილებელია არსებული სამუშაოების პოპულარიზაცია და მოსახლეობასთან კომუნიკაციის გაძლიერება, სეტყვასაშიშ ღრუბლებზე აქტიურ ზემოქმედებასთან დაკავშირებული ცნობიერების გაზრდა.

ლიტერატურა – References – Литература

- [1] Amiranashvili A. History of Active Effects on Atmospheric Processes in Georgia. In the book: Essays of the History of Weather Modification in the USSR and the Post-Soviet Territory, ISBN 978-5-86813-450-0, St. Petersburg, RSHMU, 2017, 352 pp., ill., pp. 234-254, (in Russian), <http://mig-journal.ru/toauthor?id=4644>
- [2] Amiranashvili A., Chikhladze V., Dzodzuashvili U., Ghlonti N., Sauri I., Telia Sh., Tsintsadze T. Weather Modification in Georgia: Past, Present, Prospects for Development. Int. Sc. Conf. “Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation”. Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp. 216-222, <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/8613>
- [3] Amiranashvili A., Dzodzuashvili U., Lomtadze J., Sauri I., Chikhladze V. Some characteristics of hail processes in Kakheti. Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, vol. 65, ISSN 1512-1135, Tb., 2015, pp. 77-100, (in Russian).

- [4] Amiranashvili A., Kveselava N., Ghlonti N, Chikhladze V., Tsintsadze T. History of Active Actions on the Natural Phenomena in Georgia. Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 147-152, (in Georgian). http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/8797/1/Eco_2020_3.21.pdf
- [5] Varazanashvili O., Gaprindashvili G., Elizbarashvili E., Basilashvili, Ts., Amiranashvili A., Fuchs S. The First Natural Hazard Event Database for the Republic of Georgia (GeNHs). Catalog, 2023, 270 p. <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10369>; DOI: 10.13140/RG.2.2.12474.5728
- [6] Amiranashvili A., Chikhladze V., Dzodzuashvili U., Ghlonti N., Sauri I. Reconstruction of Anti-Hail System in Kakheti (Georgia). Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. physics of atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 18B, 2015, p.92-106.
- [7] Amiranashvili A., Burnadze A., Dvalishvili K., Gelovani G., Glonti N., Dzodzuashvili U., Kaishauri M., Kveselava N., Lomtadze J., Osepashvili A., Sauri I., Telia S., Chargazia Kh., Chikhladze V. Resumption of Work to Combat Hail in Kakheti. Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, vol. 66, ISSN 1512-1135, Tb., 2016, p. 14-27, (in Russian).
- [8] Abshaev A., Abshaev ., Berekova M., Malkarova A. Guidelines for Organizing and Carrying out Anti-Hail Work. ISBN 978-5-905770-54-8, Nalchik, "Printing Yard", 2014, 500 p.
- [9] Amiranashvili A., Kveselava N., Kvilitaia N., Sauri I., Shavlakadze Sh., Chikhladze V. Some Results of Anti-Hail Works in Kakheti into 2016-2020. Trans. of M. Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. LXXII, Tbilisi, 2020, pp. 123-128. (in Georgian). http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/8934/1/15_Tr_72_2020.pdf
- [10] Amiranashvili A., Chikhladze V., Kveselava N., Kvilitaia N., Sauri I., Shavlakadze Sh. Some Characteristics of Hail Processes in Kakheti (Georgia) According to Radar Observations into 2016-2019. Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 23(2), 2020, pp. 50 – 56. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2320202729>
- [11] Amiranashvili A., Chikhladze V., Kveselava N., Sauri I. Some Results of Anti-Hail Works in Kakheti into 2016-2019. Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proc., ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 153-156. <http://www.dspace.gela.org.ge/handle/123456789/8798>
- [12] Amiranashvili A., Liev K., Kveselava N., Chikhladze V. Comparative Analysis of the Results of Anti-Hail Works in Kakheti (Georgia) and the North Caucasus (Russia) in 2016-2020. All-Russian open conference on the physics of clouds and active influences on hydrometeorological processes. Reports, ISBN 978-5-907150-93-5, Nalchik, September 8-10, 2021, p. 400 – 404.
- [13] Сулаквелидзе Г.К., Бибилашвили Н.Ш., Лапчева В.Ф. Образование осадков и воздействие на градовые процессы. Л., Гидрометеоиздат, 1965, 203 с.
- [14] კაჭარავა გ., ბერულავა ნ., მოდრეკელიძე მ., კეკეწაძე ე., გელოვანი გ. საქართველოში სეტყვ-ვასაწინააღმდეგო სამუშაოების მოკლე მიმოხილვა. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „დედამიწასა და მის გარსებში მიმდინარე გეოფიზიკური პროცესები“. შრომები, ISBN 978-9941-36-147-0, ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, თბილისი, საქართველო, 16–17 ნოემბერი, 2023 წ., გვ. 347-349. <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10471>

**საქართველოში სეტყვასაწინააღმდეგო სამუშაოების
შედეგები 2016-2022 წლებში**

კაჭარავა გ., ბერულავა ნ., მოდრეკელიძე მ., კეკეწაძე ე., გელოვანი გ.

რეზიუმე

მოყვანილია კახეთის რეგიონში 2016-2022 წწ. სეტყვასაწინააღმდეგო სამუშაოების ზოგიერთი შედეგები, განვითარებული სეტყვის პროცესების შესახებ სტატისტიკური მონაცემები, გაკეთებული გარკვეული დასკვნები და წარმოდგენილია მთელი რიგი რეკომენდაციები.

საკვანძო სიტყვები: სეტყვა, სეტყვის პროცესი, აქტიური ზემოქმედება, დასაცავი ტერიტორია.

RESULTS OF ANTI-HAIL WORK IN GEORGIA IN 2016-2022

Katcharava G., Berulava N., Modrekeldze M., Kekenadze E., Gelovani G.

Abstract

Some results of anti-hail work in the Kakheti region of Georgia in 2016-2022 are presented, statistical data on the developed hail processes are presented, and some conclusions are drawn.

Key words: hail, hail process, active impact, protected area.

ИТОГИ ПРОТИВОГРАДОВЫХ РАБОТ В ГРУЗИИ В 2016-2022 ГГ.

Качарава Г., Борулава Н., Модрекелидзе М., Кекенадзе Э., Геловани Г.

Реферат

Приведены некоторые результаты противоградовых работ в Кахетинском регионе Грузии в 2016-2022 гг., представлены статистические данные о развившихся градовых процессах, сделаны некоторые выводы.

Ключевые слова: град, градовый процесс, активное воздействие, защищаемая территория.

ვ ი ხ ს ე ნ ე ბ თ კ ო ლ ე გ ე ბ ს

მურმან კვინიკაძე (1940-2022)

2022 წელს 26 აგვისტოს გარდაიცვალა ღვაწლმოსილი ქართველი მეცნიერი, გეოლოგი, გეოლოგია-მინერალოგიის მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი, საქართველოს საინჟინრო აკადემიის ნამდვილი წევრი, ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის აკადემიური საბჭოს წევრი, საქართველოს ეროვნული პრემიის ლაურეატი, თსუ ალექსანდრე თვალჭრელიძის სახელობის მინერალური ნედლეულის კავკასიის ინსტიტუტის გეოეკოლოგიის და გამოყენებითი გეოქიმიის სამეცნიერო-კვლევითი განყოფილების დამაარსებელი და უცვლელი ხელმძღვანელი ბატონი მურმან კვინიკაძე.



ბატონი მურმან კვინიკაძე დაიბადა 1940 წლის 10 აგვისტოს ქ. ზესტაფონში. სკოლის დამთავრების შემდეგ სწავლა განაგრძო ყაზანის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გეოლოგიის ფაკულტეტზე, რომელიც წარმატებით დაამთავრა 1966 წელს.

1960-1968 წლებში მუშაობდა შორეულ ჩრდილოეთში (ვერხოიანსკი) იაკუტიის ცენტრალური გეოლოგიური ექსპედიციის ინჟინერ-გეოლოგად.

საქართველოში დაბრუნების შემდეგ, 1968-1973 წლებში, მუშაობდა საქართველოს – გეოლოგიურ დეპარტამენტში, ხოლო 1973 წლიდან გარდაცვალებამდე – ალექსანდრე თვალჭრელიძის სახელობის მინერალური ნედლეულის კავკასიის ინსტიტუტში. 1985-1988 წლებში მივლინებული იყო ალჟირის სახალხო დემოკრატიული რესპუბლიკის გეოლოგიურ დეპარტამენტში და მუშაობდა გეოლოგ-კონსულტანტად ცენტრალურ სახარაში.

ბატონი მურმან კვინიკაძის ინიციატივით 2000 წლიდან ალექსანდრე თვალჭრელიძის სახელობის მინერალური ნედლეულის კავკასიის ინსტიტუტში გაიხსნა გეოეკოლოგიის და გამოყენებითი გეოქიმიის განყოფილება, რომლის ძირითადი მიმართულება იყო მინერალური ნედლეულის მოპოვებისა და დამუშავების პროცესებში წარმოქმნილი ეკოლოგიური პრობლემების შესწავლა-შეფასება, სხვადასხვა მასშტაბის გეოეკოლოგიური რუკების შედგენა.

მ. კვინიკაძეს მონაწილეობა ჰქონდა მიღებული ქვეყნისათვის მნიშვნელოვან პროექტებში, კერძოდ:

- ვლადიკავკაზი-თბილისი-ერევნის გაზსადენის დერეფნის ეკოლოგიური პრობლემების შესწავლა;
- ცენტრალური აზიის ატლასისათვის საქართველოს გეოეკოლოგიური რუკების კომპლექტის (11 ცალი) შედგენა;

- E60 ტრანსკავკასიური ავტომაგისტრალის იგოეთი-რუისის მონაკვეთის ეკოლოგიური უსაფრთხოების სამუშაოებში;
- მისი უშუალო ხელმძღვანელობით განხორციელდა შავი ზღვის, მისი სანაპირო ზოლის (საქართველოს მონაკვეთი) და მდინარე რიონის აუზის კომპლექსური გეოეკოლოგიური შესწავლა-შეფასება. დასკვნები წარედგინა საქართველოს შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის და გარემოს დაცვისა და ბუნებრივი რესურსების სამინისტროებს;
- მადნეულის ოქროსა და სპილენძ-პოლიმეტალური საბადოს და მისი მიმდებარე ტერიტორიის გეოეკოლოგიური შეფასება;
- საქართველოს მინერალური რესურსების და გეოლოგიური გარემოს ინფორმაციული სისტემების შექმნა;
- საერთაშორისო პროგრამა „კავკასიის ატლასი“, სადაც ხელმძღვანელობდა გეოეკოლოგიურ სამუშაოებს, რის შედეგადაც შეიქმნა საქართველოს ტერიტორიის 1:1 000 000 მასშტაბის გეოეკოლოგიური რუკა, საქართველოს ტერიტორიის ბუნებრივი და ტექნოგენური მდგომარეობის 1:500 000 მასშტაბის გეოეკოლოგიური რუკა და სხვ.

2010 წელს მიღებული ჰქონდა საქართველოს ეროვნული პრემია მონოგრაფიაში „საქართველოს ეკოლოგიური უსაფრთხოების კონცეფცია“.

ბატონმა მურმან კვინიკაძემ გამოაქვეყნა 66 სამეცნიერო ნაშრომი გეოქიმიაში, პეტროგრაფიაში და გეოეკოლოგიაში. აქტიურად მონაწილეობდა მრავალ საერთაშორისო კონგრესსა, თუ სამეცნიერო კონფერენციაში. 2016-2022 წწ. იყო თსუ, მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომათა კრებულის სარედაქციო კოლეგიის წევრი.

ბატონი მურმან კვინიკაძე იყო საინტერესო მოსაუბრე, მისი ინტერესის სფერო იყო არქეოლოგია, ისტორია და რელიგიის ისტორია. ის იყო თავის პროფესიაზე შეყვარებული ადამიანი, პროფესიონალი თავის საქმის, კარგი მეგობარი, კარგი ხელმძღვანელი, კარგი მეუღლე, მამა და ბაბუა. ბატონი მურმან კვინიკაძე მუდამ ემახსოვრებათ მის მეგობრებს და კოლეგებს.

*სსიპ – ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
თსუ ალექსანდრე თვალჭრელიძის სახელობის მინერალური ნედლეულის კავკასიის
ინსტიტუტი.*

*სსიპ – ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ
ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი*

ნეკროლოგები

პაპუნა მინდელი

(16.12.1931 – 06.12.2023)

მიხეილ ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის რიგებს გამოაკლდა სასიქადულო პიროვნება – გარდაიცვალა გამოჩენილი ქართველი გეოფიზიკოსი, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი, მიხეილ ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის გამოყენებითი და ექსპერიმენტული გეოფიზიკის სექტორის მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი პაპუნა მინდელი. მან მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა საქართველოში დედამიწის შემსწავლელ მეცნიერებათა შემდგომ განვითარებაში.



პ. მინდელი დაიბადა ცნობილი პედაგოგის შალვა მინდელის ოჯახში. 1949 წელს წარჩინებით დაამთავრა თბილისის მე-6-ე საშუალო ვაჟთა სკოლა, ხოლო 1955 წელს – მოსკოვის მ. ლომონოსოვის სახ. უნივერსიტეტის ფიზიკა-ტექნიკური ფაკულტეტი გეოფიზიკოსის სპეციალობით. იმავე წლიდან ის არის გეოფიზიკის ინსტიტუტის თანამშრომელი. 1956 წლიდან ინსტიტუტის გრავიმეტრიულ განყოფილებაში მიმდინარეობდა კავკასიის ტერიტორიის გრავიმეტრიული აგეგმვა, რასაც დიდი მნიშვნელობა ჰქონდა სიმძიმის ძალის ანომალიის შესასწავლად, საბოლოოდ კი – დედამიწის ქერქისა და ლითოსფეროს არაერთგვაროვნებების დასადგენად. პ. მინდელი აქტიურად ჩაება განყოფილების როგორც საექსპედიციო სამუშაოებში, ასევე თეორიულ კვლევებში. უნდა აღინიშნოს, რომ პ. მინდელი ერთადერთი გრავიმეტრისტია, რომელმაც გაზომა სიმძიმის ძალის მნიშვნელობა იალბუზის მწვერვალზე და შავი ზღვის ფსკერზე.

1967 წელს, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში აკად. ბ. ბალავაძის სამეცნიერო ხელმძღვანელობით პ. მინდელმა დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია თემაზე: „შავი ზღვის მიდამოებში დედამიწის ქერქის აგებულება და გრავიტაციული ველი“. ის არის კავკასიის გრავიმეტრიული რუქის თანაავტორი. 1972 წელს მან მიიღო უფროსი მეცნიერი თანამშრომლის წოდება სპეციალობაში „გრავიმეტრია“.

1995 წელს გეოფიზიკის ინსტიტუტში პ. მინდელმა დაიცვა სადოქტორო დისერტაცია თემაზე: „ხმელთაშუა ზღვის ევრაზიული სარტყლის აღმოსავლეთ ნაწილის გრავიტაციული ველი და ლითოსფეროს აგებულება“.

2002-2006 წლებში პ. მინდელი ხელმძღვანელობდა გრავიტაციული მოდელირების განყოფილებას. ინსტიტუტში სტრუქტურული ცვლილებების გამო, პ. მინდელი 2006 წლიდან სიცოცხლის ბოლომდე მოღვაწეობდა გამოყენებითი და ექსპერიმენტულ სექტორში.

2000 წელს პ. მინდელმა მიიღო აკად. მ. ალექსიძის სახ. პრემია მონოგრაფიისათვის „კავკასიასა და აღმოსავლეთ ზღვისპირეთის ლითოსფეროს გრავიტაციული მოდელი“, ხოლო 2010 წელს – საქართველოს მეცნ. აკადემიის წევრ/კორ. ელიზბარ მინდელის სახ. პრემია მონოგრაფიისათვის „სახელოვანი მამულიშვილი“.

პ. მინდელი იყო 100-ზე მეტი სამეცნიერო ნაშრომის ავტორი. მისი სამეცნიერო ხელმძღვანელობით დაცულია საკანდიდატო დისერტაციები, ეწეოდა პედაგოგიურ და საორგანიზაციო საქმიანობას, მათ შორის ინსტიტუტში სპორტულ ღონისძიებებს და სხვ.

წავიდა ჩვენგან შესანიშნავი პიროვნება, ძალიან ლამაზი გარეგნულადაც და გულითაც, კეთილგანწყობილი კოლეგების მიმართ, მისმა უეცარმა სიკვდილმა შეგვაძრწუნა და გული დაგვწყვიტა. დიდებული ადამიანი პაპუნა მინდელი ყოველთვის ემახსოვრებათ მის კოლეგებს.

საგამომცემლო ჯგუფის ხელმ., ლ. დარახველიძე

ПАПУНА ШАЛВОВИЧ МИНДЕЛИ

(16.12.1931 – 06.12.2023)

На 93-ем году жизни скончался известный грузинский геофизик-гравиметрист, главный научный сотрудник Сектора прикладной и экспериментальной геофизики Института геофизики им. М.З. Нодиа, доктор физико-математических наук Папуна Шалвович Миндели, внесший весомый вклад в развитие наук о Земле в Грузии.

П.Ш. Миндели родился в Тбилиси 16 декабря 1931 года в семье известного педагога Шалвы Онисимовича Миндели. В 1949 году закончил 6-ую среднюю мужскую школу г. Тбилиси, а в 1955 году закончил физико-технический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. С 1955 года П.Ш. Миндели сотрудник Института геофизики АН Грузии. С 1956 года в отделе гравиметрии Института велись работы по гравиметрической съемке территории Кавказа. П.Ш. Миндели участвовал во всех, как в экспедиционных работах отдела, так и в теоретических исследованиях, занимался измерением значений силы тяжести на всей территории Кавказа. Необходимо отметить, что Папуной Шалвовичем Миндели измерены значения силы тяжести на пике горы Эльбрус и на дне Черного моря.

В 1967 году П.Ш. Миндели под научным руководством акад. Б.К. Балавадзе защитил кандидатскую диссертацию на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук на тему: «Гравитационное поле и строение земной коры в области Черного моря». В 1972 году он получил звание старшего научного сотрудника по специальности «Гравиметрия». В 1955 году защитил докторскую диссертацию на тему: «Гравитационное поле и строение литосферы Восточной части Евразийского пояса Средиземного моря».

П.Ш. Миндели в 2002-2006 гг. – руководитель отдела гравитационного моделирования. С 2006 года в связи с изменениями в структуре Института, он занимает должность ведущего научного сотрудника в секторе прикладной и экспериментальной геофизики

В 2000 г. П.Ш. Миндели получил премию им. акад. М.А. Алексидзе за монографию «Гравитационная модель литосферы Кавказа и Восточного Средиземноморья», а в 2002 году получил премию им. Э.О. Миндели за монографию «Прославленный ученый Элизбар Миндели».

П.Ш. Миндели принимал активное участие в организационной работе института, руководил спортивными мероприятиями, вел педагогическую деятельность и т.д.

Ушел из жизни Папуна Миндели – замечательный человек, благожелательный ко всем, очень красивый и внешностью, и сердцем. Несмотря на преклонный возраст, его пожилым нельзя было назвать. Это был стройный, молодежавый мужчина, на которого везде все устремились свои взоры. Память о нем будет жить вечно.

Рук. издательской группы, Л.К. Дарахвелидзе

გივი გელაძე **(24.07.1939 – 24.07.2023)**

გარდაიცვალა ინსტიტუტის ქანების ფიზიკის განყოფილების 1965-2006 წწ. და გამოყენებითი და ექსპერიმენტალური გეოფიზიკის სექტორის 2006-20016 წწ. უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი გივი გელაძე.

გ. გელაძე დაიბადა 1939 წლის 24 ივლისს პედაგოგების ოჯახში. 1965 წელს დაამთავრა ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტი გეოფიზიკის სპეციალობით. 1965 წლიდან ის საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტის თანამშრომელია. 1978 წელს გ. გელაძემ დაიცვა დისერტაცია ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად თემაზე: „ცვლად ველებში ქანებისა და მინერალების ელექტროწინააღობისა და დიელექტრიკული შეღწევადობის კვლევა ცვლად ელექტრომაგნიტურ ველში“.

გივი გელაძე იყო კომუნიკაბელური ადამიანი, აღზრდილი ტრადიციულ ქართულ ოჯახში. განსაკუთრებით ყურადღებას აქცევდა უფროსისადმი დამოკიდებულებას, რასაც ითხოვდა არა მარტო ასაკით თავისი უმცროსებისა, არამედ უფროსებისაგანაც. მიუხედავად იმისა, რომ დამთავრებული ქონდა რუსული სკოლა, შესანიშნავად იცნობდა ქართულ კლასიკურ მწერლობას. აღსანიშნავია მისი განსაკუთრებული მეხსიერება, მას ზეპირად ახსოვდა ბევრი ლექსი და პოემაც კი.

გივის ჰქონდა დიდი გატაცება ფეხბურთის სახით. თვითონაც მშვენივრად თამაშობდა და წლების განმავლობაში იყო გეოფიზიკის ინსტიტუტის მინიფეხბურთის გუნდის ლიდერი. ინსტიტუტმა დელისის ლაბორატორიის ტერიტორიაზე გააკეთა საკმაოდ კარგი საფეხბურთო მოედანი, რომელზედაც სათამაშოდ ძალიან ხშირად მოდიოდნენ სხვადასხვა საფეხბურთო გუნდები. ერთხელ გეოფიზიკის ინსტიტუტის გუნდი თბილისის პირველობის ფინალში გავიდა, სადაც სკანდალური მატჩის შემდეგ წააგო პროფესიონალი ფეხბურთელებით დაკომპლექტებულ გუნდთან. მათმა მოქმედებამ განსაკუთრებით აღაშფოთა ბატონი მერაბ ალექსიძე, რომელიც თვითონ ხშირად იღებდა მონაწილეობას თამაშში. საინტერესო ეპიზოდი იყო აგრეთვე 1977 წელს, როცა „გივის გუნდმა“ ითამაშა სერიოზულ ახალგაზრდა ვაკელების გუნდთან, რომელსაც მეთაურობდა მომავალში თბილისის მერი ვანო ზოდელავა. ამ თამაშმა დიდი ინტერესი გამოიწვია, გაიმარჯვა გეოფიზიკამ ანგარიშით 2:1 და შემდეგ გაიმართა საზეიმო ბანკეტი. საინტერესოა, რომ მიუხედავად იმისა, რომ გივი ძალიან გახარებული იყო, მან განაცხადა „ჩვენს შორის თამაში აღარ იქნება მანამ, სანამ ზრდილობიანი არ გახდებით“.

ასეთი კაცი იყო გივი გელაძე, ვაჟკაცი, პირდაპირი და სწორი პრინციპების მქონე ადამიანი, რომელსაც გარეგნული სიმკაცრის ნიღბის ქვეშ ქონდა ახლობლებისა და, განსაკუთრებით, ბავშვობის მეგობრების მიმართ გასაოცარი დამოკიდებულება.

ფიზ.-მათ. მეცნ. დოქტორი ზ. კერესელიძე

ГИВИ ГЕОРГИЕВИЧ ГЕЛАДЗЕ

(24.07.1939 – 24.07.2023)

24 июля 2023 года, в день своего рождения, от тяжелой болезни скончался научный сотрудник института геофизики, академический доктор физ.-мат. наук Гиви Георгиевич Геладзе. Г.Г. Геладзе родился в 1939 году в г. Тбилиси, в семье заслуженных педагогов. В 1965 г окончил физ.-мат. факультет Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили. С 1965 года по 2016 год он сотрудник Института геофизики. В 1978 году Гиви Георгиевич защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Исследование электрического сопротивления и диэлектрической проницаемости горных пород и минералов».

Сотрудники Института геофизики всегда будут помнить этого достойного коллегу.

Доктор физ.-мат. наук З. Кереселидзе

სარჩევი – Содержание – Content

დარახველიძე ლ. – თსუ, მ. ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი – 90 Darakhvelidze L. – M. Nodia Institute of Geophysics, TSU – 90 Даракхвелидзе Л.К. – Институт Геофизики им. М.З. Нодиа, ТГУ – 90	5 – 26
ქირია ჯ., ცაგურია თ., საყვარელიძე ე., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ., ქუთელია გ. – თურქეთის ძლიერი მიწისძვრის გავლენა ენგურჰესის თაღვან კაშხალზე და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე Kiria J., Tsaguria T., Sakvarelidze E., Dovgali N., Davitashvili L., Kutelia G. – The Impact of a Strong Earthquake in Turkey on the Engurhesi Arch Dam and its Surrounding Area Кириа Дж., Цагурия Т., Сакварелидзе Е., Довгаль Н., Давиташвили Л., Кутелия Г. – Воздействие сильного землетрясения в Турции на арочную плотину Ингури ГЭС и окружающую территорию	27 – 37
ოდილავაძე დ., იავოლოვსკაია ო. – გეორადიოლოკაციური მეთოდით ცილინდრული ფორმის სამშენებლო კონსტრუქციების დაფარული ნაწილების დადრმავეების განსაზღვრა Odilavadze D., Yavolovskaya O. – Determining the Depth of Pile Structures by Georadar Одилавадзе Д., Яволовская О. – Определение заглубления свайных конструкций методом георадиолокации	38 – 43
ოდილავაძე დ., ჭელიძე თ., იავოლოვსკაია ო. – დიელექტრიკულ გარემოში განთავსებული განსხვავებული დიელექტრიკული შემავსებლებით აგებული ცილინდრული სხეულების გეორადიოლოკაციური სახეები და მათი იდენტიფიცირება ობიექტებთან Odilavadze D., Chelidze T., Yavolovskaya O. – Georadiolocation Images of Cylindrical Bodies Built with Different Dielectric Fillers, Placed in a Dielectric Environment and their Identification with Objects Одилавадзе Д., Челидзе Т., Яволовская О. – Георадиолокационные образы цилиндрических тел, составленных из различных диэлектрических наполнителей и помещенных в диэлектрическую среду, и их идентификация с объектами	44 – 51
გიგებერია მ., ქირია ჯ., ლლონტი ნ. – მარნეულის რაიონის, იაღლუჯა არსებული სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების მიწის ნაკვეთის ტერიტორიის გამოკვლევა სეისმოძიების მეთოდებით Gigiberia M., Kiria J., Ghlonti N. – Investigation of the Territory of the Existing Agricultural Plot of Land in Yagluja, Marneuli District, Using Seismic Methods Гигиберия М., Кириа Дж., Глonti Н. – Исследование территории существующего земельного участка сельскохозяйственного назначения в Яглудже Марнеульского района сейсмическими методами	52 – 90

- ოდილავაძე დ., ვარამაშვილი ნ., ჭელიძე თ., ღლონტი ნ., ქირია ჯ.,
თარხან-მოურავი ა. – საქართველოს ხელოვნების ეროვნული მუზეუმის
ცენტრალური შესასვლელთან მიმდებარე ტერიტორიაზე მდებარე ხეების
შესაძლო გავლენის შესწავლა, გეოფიზიკური მეთოდებით, შენობის
ფასადის მხარეს მდებარე ფუნდამენტზე 91 – 105
- Odilavadze D., Varamashvili N., Chelidze T., Glonti N., Kiria J., Tarkhan-Mouravi A. –
Studying the Possible Impact of the Trees Located Near the Central Entrance of the
National Museum of Art of Georgia on the Foundation on the Facade Side of the
Building Using Geophysical Methods
- Одилавадзе Д., Варамашвили Н., Челидзе Т., Глonti Н., Кириа Дж., Тархан-
Моурави А. – Изучение возможного воздействия деревьев, расположенных у
центрального входа национального музея искусств Грузии, на фундамент с
фасадной стороны здания, геофизическими методами
- ქირია თ., ნიკოლაიშვილი მ., ჩხაიძე თ. – დედამიწის კლიმატის ცვლილების
გამომწვევი მთავარი მიზეზების შესახებ 106 – 111
- Kiria T., Nikolaishvili M., Chkhaidze T. – About the Main Causes of the Earth's
Climate Change
- Кириа Т., Николайшвили М., Чхаидзе Т. – Об основных причинах изменения
климата Земли
- დემეტრაშვილი დ. – მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და
ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორში 2011-2023 წწ.-ში
ჩატარებული კვლევები და პერსპექტივები 112 – 121
- Demetrashvili D. – Research Conducted in the Sector of Modeling the Sea and
Atmospheric Dynamics of M. Nodia Institute of Geophysics in 2011-2023 and
Perspectives
- Деметрашвили Д. – Исследования, проведенные в секторе моделирования
динамики моря и атмосферы института геофизики им. М. Нодиа в 2011-2023
гг. и перспективы
- Кереселидзе З.А., Амиранашвили А.Г. – О влиянии капиллярных колебаний
капель на микрофизические и электрические процессы в облаках 122 – 133
- კერესელიძე ზ., ამირანაშვილი ა. – წვეთების კაპილარული რხევების
გავლენის შესახებ დრუბლებში მიმდინარე მიკროფიზიკურ და
ელექტრულ პროცესებზე
- Kereselidze Z., Amiranshvili A. – On the Influence of Capillary Oscillations of Drops
on Microphysical and Electric Processes in Clouds
- კერესელიძე ზ., ვარამაშვილი ნ. – შოვის (საქართველო) კატასტროფის
შესაძლო გამომწვევი მიზეზები 134 – 148
- Kereselidze Z., Varamashvili N. – Possible Causes of Shovi (Georgia) Catastrophe
Кереселидзе З., Варамашвили Н. – Возможные причины катастрофы в Шови (Грузия)
- ჩიხლაძე ვ., ვარამაშვილი ნ. – მთის მყინვარები და დისტანციური
ზონდირება 149 – 167
- Chikhladze V., Varamashvili N. – Mountain Glaciers and Remote Sensing
Чихладзе В., Варамашвили Н. – Горные ледники и дистанционное зондирование

ვარაზანაშვილი ო., გაფრინდაშვილი გ., ელიზბარაშვილი ე., ამირანაშვილი ა., ბასილაშვილი ც., ფუქსი ს. – ბუნებრივი საშიშროებების მოვლენების ახალი პარამეტრული კატალოგები საქართველოსთვის	168 – 177
Varazanashvili O., Gaprindashvili G., Elizbarashvili E., Amiranashvili A., Basilashvili Ts., Fuchs S. – New Parametric Catalogs of Natural Hazard Events for Georgia	
ვარაზანაშვილი ო., გაფრინდაშვილი გ., ელიზბარაშვილი ე., ამირანაშვილი ა., ბასილაშვილი ც., ფუქსი ს. – Новые параметрические каталоги опасных природных явлений для Грузии	
კაჭარავა გ., ბერულავა ნ., მოდრეკელიძე მ., კეკენაძე ე., გელოვანი გ. – საქართველოში სეტყვასაწინააღმდეგო სამუშაოების შედეგები 2016-2022 წლებში	178 – 184
Katcharava G., Berulava N., Modrekelidze M., Kekenadze E., Gelovani G. – Results of Anti-Hail Work in Georgia in 2016-2022	
კაჭარავა გ., ბერულავა ნ., მოდრეკელიძე მ., კეკენაძე ე., გელოვანი გ. – Итоги противоградových работ в Грузии в 2016-2022 гг.	
ვიხსენებთ კოლეგებს	185 – 186
ნეკროლოგები / Некрологи	187 – 190

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

IVANE JAVAKHISHVILI TBILISI STATE UNIVERSITY

ТБИЛИССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

им. И. ДЖАВАХИШВИЛИ

მიხეილ ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ტ. LXXVI, 2023

Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, vol. LXXVI, 2023

Труды Института геофизики им. Михаила Нодиа, т. LXXVI, 2023

ტირაჟი 30 ც.

სამეცნიერო საგამომცემლო ჯგუფის ხელმძღვანელი – ლ. დარახველიძე.

Circulation 30 copy.

Leader of scientifically- publishing group – L. Darakhvelidze.

Тираж 30 экз.

Руководитель научно-издательской группы – Л. К. Дарахвелидзе.

ISSN 1512-1135

E-mail: avtandilamiranashvili@gmail.com; geophysics.transactions@tsu.ge

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

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

თბილისი

Tbilisi 2023 Тбилиси

დამკაბადონებელი
გარეკანის დიზაინერი

ლალი კურდღელაშვილი
მარიამ ებრალიძე

Typesetter
Cover Designer

Lali Kurdghelashvili
Mariam Ebralidze

0179 თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზირი 1

1, Ilia Tchavtchavadze Ave., Tbilisi 0179

Tel 995(32) 225 04 84, 6284/6279

<https://www.tsu.ge/ka/publishing-house>

